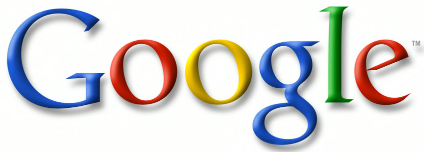
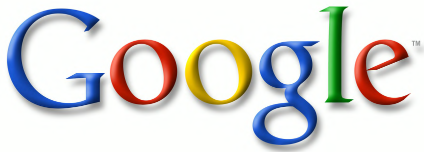
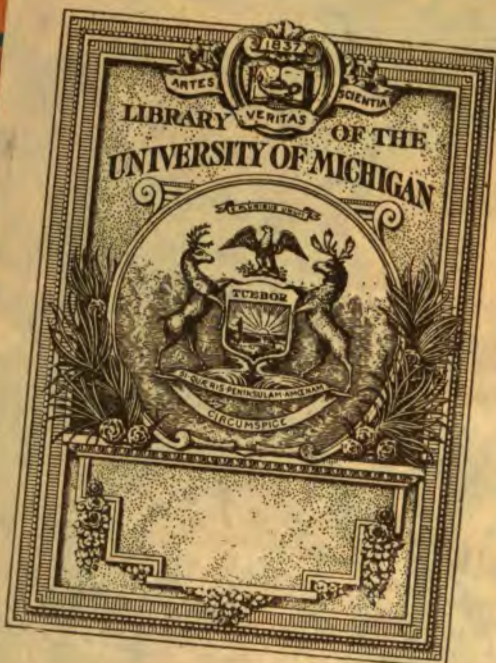
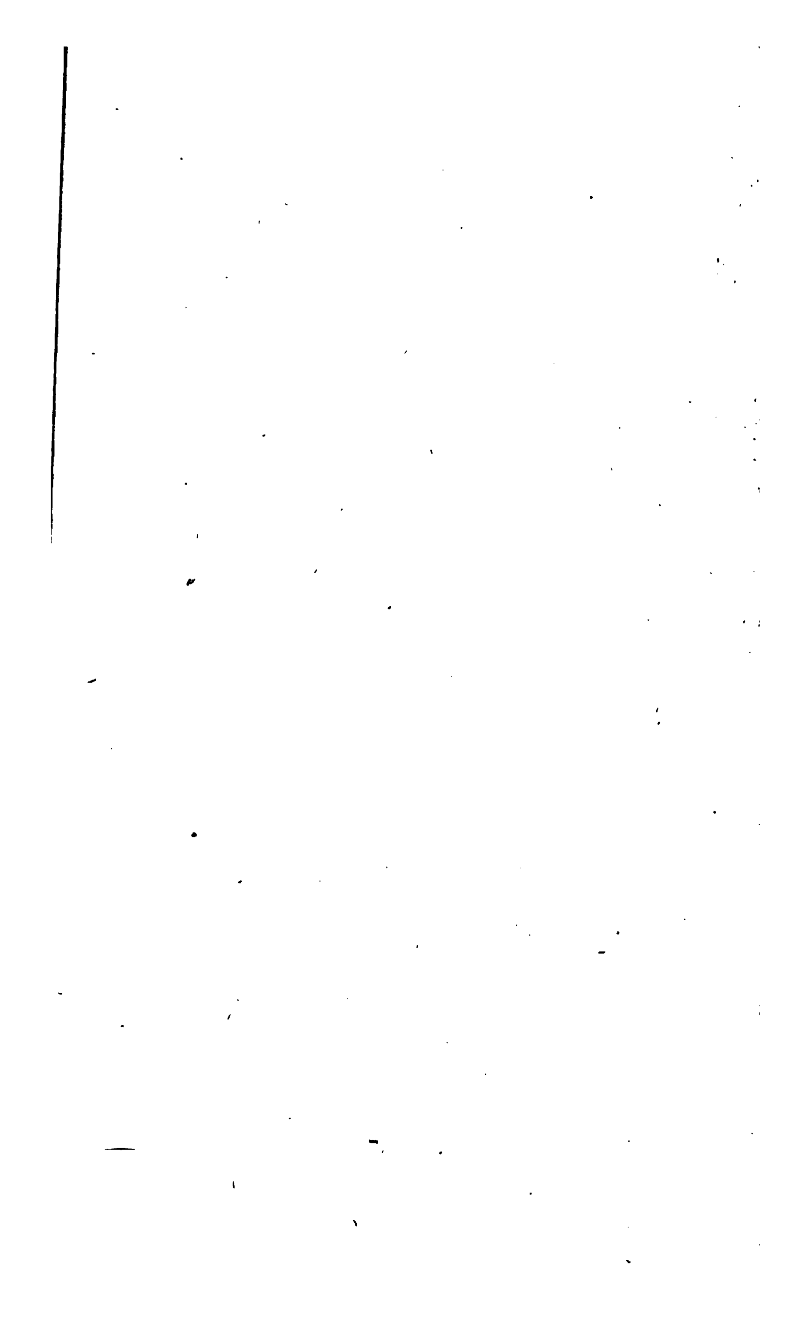






1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUÆRIS PENINSULAM AMŒNAM
CIRCUMSPICE



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

Jean Antoine

Par M. l'Abbé NOLLET, *de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, &c. Maître de Physique & d'Histoire Naturelle des Enfants de France, & Professeur Royal de Physique Expérimentale au College de Navarre, & aux Ecoles du Génie & de l'Artillerie.*

TOME TROISIEME.

CINQUIEME ÉDITION.



A PARIS,

Chez LOUIS-FRANÇOIS DELATOUR, rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. LXVI.

Avec Approbation & Privilege du Roi.

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doïvent être placées de maniére qu'en s'ouvrant elles puissent sortir entiérement du livre, & se voir à droïte, dans l'ordre qui suit.

TOME TROISIEME.

	Pages.	Planches.
IX. LEÇON.	24	1.
	42	2.
	68	3.
	86	4.
	98	5.
	106	6.
	124	7.
	136	8.
	170	9.
X. LEÇON.	192	1.
	216	2.
	234	3.
	254	4.
	288	5.
	336	6.
XI. LEÇON.	414	1.
	440	2.
	472	3.
	504	4.

EXTRAIT DES REGISTRES de l'Académie Royale des Sciences.

Du 6 Mars 1745.

MOnsieur DE RÉAUMUR & moi, qui avions été nommés pour examiner *le troisieme Volume des Leçons de Physique Expérimentale* de M. l'Abbé NOLLET, en ayant fait notre rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impression : en foi de quoi j'ai signé le présent Certificat. A Paris, ce 6 Mars 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY,
Secretaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences.



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.



APRES avoir enſeigné, dans les Leçons précédentes, les propriétés & les loix du mouvement, tant pour les corps ſolides, que pour les fluides, il nous reſte à parler dans celle-ci des moyens par leſquels on peut l'employer, ou plus commodément, ou avec plus d'avantage. Ces moyens ſont les *Machines*, c'eſt-à-dire, certains corps ou aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins ſimple, qui

IX. LEÇON.

IX. LEÇON.

transmettent l'action d'une puissance sur une résistance, & qui la font croître ou diminuer en variant les vîtesses.

La science qui traite des machines s'appelle *Méchanique* ; elle suppose, dans celui qui s'y applique, des connoissances suffisantes de Mathématiques & de Physique : car un Méchanicien doit non-seulement estimer & mesurer des forces opposées entr'elles relativement à leurs positions respectives & à leurs directions ; mais il faut encore qu'il sçache distinguer qu'elle est la nature de ces forces, ce qui peut s'y mêler d'étranger, par la qualité des matieres qu'on employe, par la circonstance du lieu, du tems, &c. Celui qui ne posséderoit que la partie physique, pourroit faire des machines durables, & bien assorties, quant à l'assemblage des piéces & à leur maniere de se mouvoir ; mais il courroit risque de se tromper souvent dans les proportions, & les effets se trouveroient rarement tels qu'il les auroit attendus. Celui qui n'auroit que des connoissances purement mathématiques, & qui ne considéreroit que des lignes & des points dans les quantités dont

il voudroit faire usage, trouveroit sans doute beaucoup de déchet après l'exécution. Enfin celui qui ne seroit ni Géométre, ni Physicien, travailleroit absolument en aveugle, & ne pourroit se flatter de réussir que par un pur hazard, souvent après bien des tentatives inutiles, pénibles & presque toujours dispendieuses. C'est une vérité que l'expérience prouve depuis long-tems, & qui devroit corriger bien des gens dont le travail est infructueux; mais de même que l'amour-propre, & l'envie d'être Auteur, fait imprimer quantité de mauvais Ouvrages, malgré la critique; les mêmes motifs, & souvent l'appas du gain, font faire aussi les frais d'un nombre prodigieux d'inventions qui ne verroient pas le jour, si ceux qui les imaginent en sçavoient assez pour en bien juger.

Les mauvaises machines naissent plus fréquemment que les bonnes; & c'est ce qui décrédite un peu la Méchanique dans l'esprit de plusieurs personnes qui confondent injustement le Machiniste avec le vrai Méchanicien : on revient aisément de

IX. LEÇON.

cette idée, quand on fait attention que des Sçavans du premier ordre, Archytas, Ariſtote, Archimédes, &c. parmi les Anciens ; MM. Mariotte, Amontons, de la Hire, Varignon, &c. parmi les modernes, ſe ſont appliqués particuliérement à la ſcience des machines utiles, & ſe ſont rendus recommandables par les progrès qu'ils y ont faits. Les découvertes de ce genre font autant d'honneur, & ne méritent pas moins d'applaudiſſemens que celles de toute autre eſpéce : l'objet de cette ſcience n'eſt-il pas très-utile en lui-même ? & la ſociété n'en retire-t-elle pas des avantages conſidérables ? Jugeons de ce que nous en pouvons attendre par les productions dont nous jouiſſons actuellement : les moulins qui nous préparent la farine, ceux qui foulent nos étoffes, ou qui nous tirent l'huile des végétaux, les différentes pompes qui élévent l'eau pour nos uſages & pour la décoration de nos jardins, les voitures qui nous épargnent tant de fatigues, & qui rendent les tranſports ſi faciles & ſi commodes ; les poulies, les grues, les cabeſtans

dont l'application eſt ſi avantageuſe & ſi fréquente dans l'architecture & dans la navigation : les ponts-levis, & quantité d'autres moyens dont on ſe ſert pour défendre les places, ne ſont-ils pas autant de machines dont nous ſentons tous les jours l'utilité, & qui deviennent même néceſſaires ſelon les circonſtances? On doit aſſurément ſçavoir bon gré à ceux qui veulent bien ſe refuſer aux attraits ſéduiſans de la haute Géométrie, pour ſe donner le loiſir d'en appliquer les principes à des recherches de cette nature : elles ſont moins brillantes, que la ſolution des grands problêmes; mais elles ne m'en paroiſſent pas moins eſtimables, parce qu'elles tendent plus directement au bien de la ſociété, & qu'elles ont, pour l'ordinaire, des applications plus promptement, & quelquefois plus généralement utiles.

On diſtingue communément deux ſortes de machines; celles qui ſont *ſimples*, & celles qui ſont *compoſées* : les premieres ſont comme les élémens des autres, & ce ſont elles qui vont faire principalement le ſujet de

IX. LEÇON.

cette Leçon ; car la multiplication & l'assemblage des machines simples dans un même tout, n'apporte aucun changement essentiel à leurs propriétés, & nous ne devons pas entreprendre de faire une énumération complette de toutes les machines composées qui ont été mises au jour pour faire connoître toutes les applications qu'on y a faites de celles qui sont simples. Nous nous contenterons d'indiquer celles qui sont le plus en usage, dont la construction pourra s'entendre plus facilement, & qui n'auront pas besoin de ces descriptions longues & détaillées qui ne peuvent avoir place dans cet Ouvrage.

Le nombre des machines simples varie selon la maniere d'estimer leur simplicité ; les uns regardant comme simple ce que d'autres considérent comme étant déja composé, c'est une chose assez arbitraire & peu importante : pour moi sans désapprouver les opinions qui différent de la mienne à cet égard, je ne compte que trois sortes de machines simples ; sçavoir, le *Levier*, le *Plan incliné*, & les *Cordes*. Mais avant que d'entrer

en matiére, il eſt à propos d'établir quelques notions générales, qui rendront notre théorie plus facile à ſaiſir, & de prévenir auſſi quelques difficultés qui pourroient naître dans le cours de nos explications.

Dans une machine, il y a quatre choſes principales à conſidérer ; la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou centre de mouvement, & la vîteſſe avec laquelle on fait mouvoir la puiſſance & la réſiſtance.

On appelle *puiſſance* une force quelconque, ou pluſieurs enſemble, qui concourent à vaincre un obſtacle, ou à ſoutenir ſon effort; ainſi les hommes ou le cheval qui remontent un bateau contre le courant de la riviére, le poids d'un tourne-broche, ceux d'une horloge ou d'une pendule, doivent être regardés comme la puiſſance ou force motrice.

Quand la puiſſance qu'on employe dans une machine eſt l'effort d'un animal, on doit l'eſtimer relativement à la nature & à la durée du travail. Car quoiqu'un cheval puiſſe vaincre pour un tems fort court une force de 500 ou 600 livres, & qu'un homme

IX. LEÇON.

soutienne pendant quelques instants un fardeau de 100 ou 150 livres, quand il s'agit de travailler de suite, on ne doit pas compter sur un effort qui excéde 25 ou 30 livres de la part d'un homme, & environ 180 livres de la part d'un cheval; encore faut-il qu'ils agissent avec liberté, & qu'ils ne soient pas gênés, soit par la disposition de la machine à laquelle on les applique, soit par la situation du terrein, ou autrement.

Si la puissance est un poids ou un ressort, il peut arriver qu'elle ne soit pas d'une valeur constante : car, 1°. à mesure qu'un ressort se déploye, son effort diminue. & si la machine n'est point faite d'une maniere qui supplée à cette diminution, les efforts ne peuvent pas être aussi grands à la fin qu'au commencement. 2°. Nous avons fait voir, en parlant de la pesanteur, que l'accélération augmente la force des corps qui tombent librement, c'est-à-dire, avec une vîtesse très-sensible; ainsi dans tous les cas où le mouvement est imprimé par le choc d'un corps qui tombe, la machine en reçoit d'autant plus que

le moteur deſcend de plus haut.

La *réſiſtance* eſt une autre force ou la ſomme de pluſieurs obſtacles qui s'oppoſent au mouvement de la machine que la puiſſance anime ou fait mouvoir ; tel eſt un bloc de pierre ou de marbre qui réſiſte par ſon poids à l'action des hommes qui font effort pour le traîner ou pour l'enlever, par le moyen d'un treuil, d'un cabeſtan, d'une grue, &c.

La réſiſtance n'eſt pas toujours une quantité conſtante comme un poids qu'on veut enlever ; ſouvent ce ſont des reſſorts à tendre, des corps à diviſer, des fluides à ſoutenir ; & en pareils cas, la puiſſance a plus ou moins à faire au commencement de ſon action qu'à la fin. Pour n'être point pris en défaut, on doit proportionner la machine de façon, que la réſiſtance, étant la plus grande qu'elle puiſſe être, ſe trouve encore inférieure à la force motrice. Ainſi lorſqu'il s'agit, par exemple, de faire monter l'eau par le moyen d'une pompe, on doit conſidérer le tuyau montant comme étant toujours plein, quoiqu'il ne le ſoit véritablement

IX. LEÇON. qu'après un certain nombre de coups de piſtons, pendant leſquels la force motrice eſt plus que ſuffiſante.

On appelle *Point d'appui*, *Centre de mouvement*, ou *Hypomochlion*, cette partie d'une machine, autour de laquelle les autres ſe meuvent; c'eſt dans une balance, l'endroit de la chaſſe ſur lequel repoſe l'axe du fléau; c'eſt dans une roue de carroſſe, l'extrémité du rayon qui touche actuellement le terrein, lorſqu'elle roule: c'eſt la penture d'une porte, l'axe d'une poulie, &c.

Le centre du mouvement n'eſt pas toujours un ſeul point fixe; dans bien des occaſions, c'eſt une ſuite de points qui forment une ligne; tel eſt l'axe d'une ſphère, telles ſont les charniéres, & tout ce qui en fait l'office.

Le point d'appui, bien ſouvent, n'eſt fixe que relativement à la révolution dont il eſt le centre: il peut être mobile d'ailleurs; tel eſt, par exemple, l'eſſieu d'une charrette qui eſt emporté dans une direction parallèle au terrein, pendant qu'il eſt le centre du mouvement des roues; quelquefois même c'eſt l'action d'un

corps animé qui sert d'appui, comme lorsque deux hommes portent ensemble quelque fardeau sur un bâton dont ils soutiennent chacun un bout ; l'un des deux, indifféremment, peut être regardé ou comme puissance, ou comme point d'appui.

Les vîtesses se mesurent par les espaces que parcourent la puissance & la résistance, ou qu'elles parcourroient, eu égard à la disposition de la machine, si l'une emportoit l'autre. Un homme, par exemple, qui tire un fardeau par le moyen d'un cabestan, décrit, en marchant, la circonférence d'un cercle ; & pendant qu'il parcourt ce chemin, le fardeau s'approche d'une certaine quantité : ce sont ces espaces parcourus de part & d'autre qui déterminent les vîtesses respectives; car le tems est égal pour l'un & pour l'autre. De même quand les deux bassins d'une balance sont en repos par cause d'équilibre, on connoît leurs vîtesses, par le chemin qu'ils feroient en même-tems, l'un en montant, l'autre en descendant, si le mouvement avoit lieu.

La pesanteur est une force qui

IX. LEÇON.

s'employe souvent en méchaniqu comme puissance ou comme résis tance : quoiqu'elle appartienne éga lement à toutes les parties de matié re renfermées sous un même volume pour plus de simplicité, nous la con sidérerons comme résidente en un seu point, que nous nommerons, *Centr de gravité.*

Ce centre de gravité, ou de pesan teur, n'est pas toujours celui de la figu re ; c'est un point par lequel un corp étant suspendu, toutes ces autres par ties demeurent en repos, & avec le quel elles se meuvent toutes lorsqu'i cesse d'être appuyé. Delà il est ais de comprendre que ce point ne s trouve justement au milieu que dan les corps dont les parties sont homo génes, & la figure symmétrisée. Dan une boule bien ronde, par exemple & d'une densité bien uniforme, il es évident que tous les rayons, ou demi diamétres, sont égaux & de mêm poids ; égaux, à cause de la figur parfaitement sphérique ; de mêm poids, à cause de l'homogénéité de parties : tout est donc en équilibr autour d'un point qui est en même

tems centre de gravité & de figure. Il n'en est pas de même d'une fléche dont le bout est ferré, ou d'une plume à écrire ; si l'on partage sa longueur en deux parties égales, l'une se trouvera plus pésante que l'autre, & la section n'aura point passé par le centre de sa pesanteur, quoiqu'elle se soit faite à celui de sa figure.

De la même maniére que l'on conçoit toute la pesanteur d'un corps réunie dans un seul point, on considére pareillement, dans un espace infiniment petit, celle de plusieurs corps qui concourent à une même action par leurs poids. Quand plusieurs masses pésent sur une même corde par des fils qui les y attachent, on peut regarder le nœud commun de ces fils comme le centre des pésanteurs particulieres. *A*, *B*, *Figure* 1. étant donc les centres de gravité des deux corps suspendus, leurs actions se réunissent en *C* ou dans tout autre point que l'on voudra choisir de la ligne *Cd*, pourvû que le poids *A* soit égal au poids *B*; car si l'une des deux boules étoit de bois, & l'autre de pierre, le centre de la plus pesante s'appro-

cheroit davantage de la ligne *cD*, & la ligne *ab* seroit partagée par la direction *c D* en deux parties inégales, dont la plus longue seroit à la plus courte, comme le plus grand poids au plus petit.

IX. LEÇON.

Quel que puisse être le nombre de ces corps pesans, si l'on connoît le centre de gravité de chacun d'eux, on détermine facilement l'endroit où se réunissent leurs forces, parce que les distances sont connues; mais ceci s'entendra mieux quand nous aurons expliqué la théorie du levier.

La pesanteur a une intensité différente lorsque les corps sont plus ou moins éloignés du centre de la terre où ils tendent; mais dans la suite de cette Leçon, nous n'aurons point égard à cette différence, parce qu'elle n'est jamais sensible dans l'étendue que peut avoir une machine; ainsi nous supposerons qu'un poids dont la chûte n'est point accélérée, exerce toujours la même force ou la même pression dans toute sa direction. Un sceau plein d'eau qui pése 100 livres sur la poulie du puits lorsqu'il est en haut, est donc censé peser autant

lorſqu'il eſt 50 ou 60 pieds plus bas, (abſtraction faite du poids de la corde ;) & celui qui ſonne une cloche fait toujours le même effort, ſoit que la corde ait beaucoup ou peu de longueur.

Nous regarderons auſſi comme paralléles les directions de deux poids diſtans l'un de l'autre, quoiqu'à la rigueur elles ſoient un peu inclinées entr'elles, puiſque tous les corps graves tendent à un même point qui eſt le centre de la terre ; mais nous en ſommes trop éloignés, pour avoir à craindre aucun mécompte, en négligeant cette inclinaiſon.

Pour écarter tout ce qui eſt en quelque façon étranger à notre objet préſent, dans toute cette Leçon nous ferons abſtraction des frottemens & de la réſiſtance des milieux ; obſtacles cependant dont on doit bien tenir compte dans la pratique, & qui, lorſqu'on les néglige, ou qu'on manque à les eſtimer ſelon leur valeur, cauſent des erreurs conſidérables dans les calculs que l'on fait ſur le produit des machines, comme nous l'avons fait voir dans la troiſiéme Leçon, en

expliquant la premiere loi du mouvement.

IX. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

Du Levier.

UN Levier considéré mathématiquement n'est autre chose qu'une ligne droite sans pesanteur qui regle les distances & les positions de la puissance, de la résistance & du point d'appui. Si dans la pratique cette ligne devient pesante & courbe, son poids doit être considéré comme faisant partie de la puissance ou de la résistance, & sa courbure peut toujours se réduire à la distance qu'elle met entre ces deux forces, eu égard à leurs directions, ou bien entre l'une des deux & le point d'appui : ainsi *E F G Fig.* 2. équivaut à *e g*; & si les deux parties *E F*, *F G*, sont de fer, ou de quelque autre matiére sensiblement pesante, chacune fait partie de la masse *E*, ou *G*, qu'elle soutient.

On distingue ordinairement trois genres de Leviers par les différentes positions

positions que l'on peut donner à la puissance, à la résistance & au centre du mouvement ou point d'appui. On pourroit, en suivant l'exemple de quelques Auteurs célébres *, regarder comme deux autres puissances, ce que j'ai nommé résistance & point d'appui; & alors la distinction des leviers en trois genres n'auroit plus lieu : mais il m'a semblé qu'il y avoit quelque avantage à suivre la méthode la plus usitée dans une Leçon, qui est moins un traité de méchanique, qu'un simple exposé des principes de cette science. Pour représenter donc ces trois sortes de leviers, je désignerai la puissance ou force motrice par une main *A*, la résistance par un poids *B*; & le point d'appui par un pivot *C*. *

* *Traité de Méchaniq. de M. de la Hire.*

* *Fig.* 3, 4, 5, 6.

Les leviers du premier genre sont ceux où le point d'appui est entre la puissance & la résistance *Fig.* 3.

Ceux du second genre ont la résistance entre le point d'appui & la puissance *Fig.* 4.

Dans ceux du troisiéme genre, la puissance est placée entre le point d'appui & la résistance *Fig.* 5.

IX. LEÇON.

Les espéces de chaque genre se distinguent par la distance qu'il y a de la puissance au point d'appui, relativement & par comparaison à celle qui est entre ce même point & la résistance. Si, par exemple, le pivot, au lieu d'être en *C* étoit en *c*, *Fig.* 3. ce seroit toujours un levier du premier genre ; mais l'espéce seroit différente ; ainsi pour s'exprimer exactement sur quelque levier que ce puisse être, on dira : « Il est de tel ou tel genre, » & les distances des forces résistantes » & motrices au point d'appui, sont » entr'elles dans le rapport de 2 à 3, » ou à 4, ou à 5, &c. »

La distance de ces deux forces au point d'appui détermine le chemin qu'elles ont à faire, & par conséquent leurs vîtesses ; car, puisque l'une ne peut se mouvoir sans l'autre, il est évident que la puissance *A*, *Fig.* 6. n'employera pas plus de temps à parcourir l'arc *Aa*, que la résistance en consumera pour achever le sien B*b*. Quand les tems sont égaux, les vîtesses doivent se comparer par les espaces parcourus ou à parcourir, comme nous l'avons enseigné *, en par-

* Tom. I. p. 193. & suiv.

lant des propriétés du mouvement. Ainſi comme les arcs *A a*, & *B b*, ſuivent entre eux le rapport de leurs rayons *AC*, & *BC*, il eſt certain qu'en connoiſſant ces deux dernieres diſtances, on ſçait la vîteſſe de la puiſſance & celle de la réſiſtance. D'où il ſuit :

1°. Qu'un poids agiſſant comme puiſſance ou comme réſiſtance, par un levier placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il eſt plus éloigné du point d'appui.

2°. Que deux maſſes égales oppoſées l'une à l'autre ſur un ſemblable levier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles ſont à égales diſtances du point d'appui, & qu'elles agiſſent en ſens contraires.

3°. Que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs diſtances au point d'appui ſont réciproquement comme les maſſes.

Ces trois propoſitions deviendront ſenſibles par des expériences.



IX. LEÇON.

I. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 7. représente une planche élevée verticalement sur une base & percée à jour par une rainure *H I*; la piéce *K* est une espéce de chasse qui peut se placer à différens endroits de la rainure par le moyen d'une queue à vis qui traverse celle-ci, & qui s'arrête par derriere avec un écrou. *L M*, est une petite boîte de métal qui se meut sur deux pivots dans la chasse, & dans laquelle on fait glisser le levier *NO*, pour l'arrêter à tel endroit qu'on souhaite de sa longueur : par ce moyen le point fixe change de place, non-seulement sur la planche, mais même sur le levier ; les extrémités de ce levier sont percées pour recevoir des poids qui portent chacun une petite boucle en-dessous pour en recevoir d'autres. *P* est une masse qui est enfilée par le levier, & que l'on y arrête à tel endroit qu'il convient, pour le mettre en équilibre avec lui-même, dans les cas où le point d'appui n'est pas placé au milieu de sa longueur. Q

est une poulie très-mobile sur son axe, dont la mouffle se place en fourchette, & à telle distance que l'on veut sur le haut de la planche; cette poulie est embrassée par un cordon qui porte d'un côté un poids, & de l'autre un crochet pour soutenir le levier, dans les cas où le point fixe se trouve placé à l'une des deux extrémités.

Avec cette machine ainsi préparée, on peut mettre en expérience les leviers de tous les genres & de toutes les espéces, varier la puissance & la résistance, non-seulement quant à leurs distances au point d'appui, mais encore quant à leurs masses, ou quantités absolues, & par le moyen du contrepoids *P*, le levier peut toujours ressembler à une ligne mathématique, inflexible & sans poids.

Ces moyens étant donc supposés, nous nous abstiendrons de les faire reparoître dans nos figures, & nous représenterons chaque expérience par des lignes, afin d'écarter de nos explications ce qui est étranger, & de n'occuper l'attention du Lecteur que de l'objet dont il sera question.

IX. LEÇON.

Ayant donc diſpoſé le levier de maniere que ſon point fixe ſe trouve entre deux poids, comme il eſt repréſenté par la *Fig*. 8. on remarquera ce qui ſuit.

EFFETS.

1°. Si le point fixe eſt en *a*, c'eſt-à-dire, qu'il partage le levier en deux bras égaux, une puiſſance d'une livre ſoutient une réſiſtance de même poids.

2°. Si le point fixe eſt en *b*, le bras de la puiſſance eſt deux fois auſſi long que celui de la réſiſtance; une livre en *P* ſoutient deux livres en *R*.

3°. Si le point fixe eſt en *c*, il y a trois fois auſſi loin de *c* en *p*, que de *c* en *r*; la même livre employée en *P* en ſoutient trois placées en *R*.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut diſpoſer la machine que nous avons décrite *, de maniere que le point fixe ſe trouve à l'une des deux extrémités du levier, & que l'anneau dans lequel paſſe le levier

* *Fig*. 7.

soutenu par la puissance *P*, puisse se placer d'abord au point 2, & ensuite au point 1. Voyez la *Fig.* 9.

EFFETS.

Dans le premier cas, *R* pesant une livre, fait équilibre à *P*, dont le poids est 1 livre $\frac{1}{2}$.

Dans le second cas, pour avoir équilibre, il faut mettre les deux poids dans le rapport de 3 à 1, c'est-à-dire, que la masse *P* qui n'est éloignée du point d'appui que d'un espace, doit peser 3 livres pendant que l'autre *R* qui est à la troisiéme distance, n'en pése qu'une.

Ce levier qui est du troisiéme genre, représente aussi celui du second, si l'on considére comme résistance, ce que nous avons regardé comme puissance.

EXPLICATIONS.

Les principes que j'ai établis d'abord, laissent peu de choses à dire pour expliquer les faits qui sont rapportés dans ces deux premieres expériences. L'action ou la force d'un corps se mesure par la quantité de

IX. LEÇON.
mouvement qu'il a, ou qu'il auroit, s'il n'étoit pas retenu; or la quantité du mouvement résulte de la masse multipliée par la vîtesse. Sur un même levier la puissance & la résistance ne peuvent se mouvoir qu'en même tems ; leurs vîtesses, c'est-à-dire, celles qu'elles ont, ou qu'elles auroient, si le mouvement avoit lieu, ne peuvent donc différer que par les espaces. S'il y a équilibre entre 1 livre & 1 livre, sur un levier horizontal partagé en deux bras égaux par le point d'appui, comme on l'a vû dans le premier résultat de la premiére expérience, c'est que ce levier ne peut se mouvoir, sans que les deux poids parcourent des arcs égaux en même-tems, ou (ce qui est la même chose) sans qu'ils ayent la même vîtesse ; égalité de vîtesses, & égalité de masses de part & d'autre, produisent des efforts égaux, qui se détruisent réciproquement, parce qu'ils se font en sens contraires, ce que l'on appelle *équilibre*.

Dans le second résultat on voit une livre qui en soutient deux, parce qu'elle est tellement placée qu'elle auroit

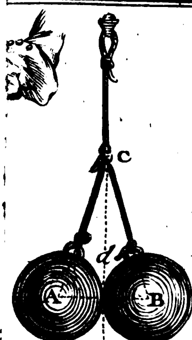


Fig. 1.





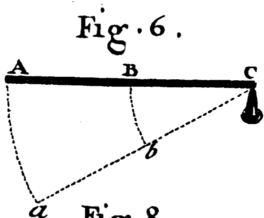


Fig. 6.

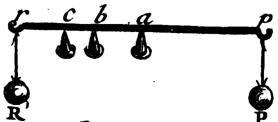


Fig. 8.

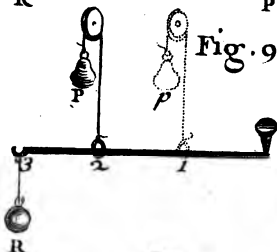


Fig. 9.

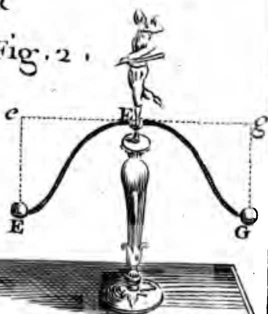
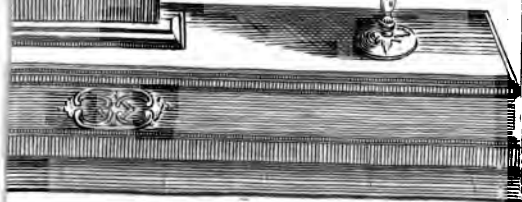


Fig. 2.



auroit deux fois plus de vîtesse que le poids opposé ; 1 de masse multiplié par 2 de vîtesse, équivaut à 1 de vîtesse multiplié par 2 de masse. Il est facile d'appliquer ce calcul aux autres effets.

COROLLAIRE.

Puisqu'une puissance appliquée à un levier croît toujours à mesure qu'elle s'éloigne du point d'appui, comme on l'a pû voir par les expériences précédentes ; on doit en tirer cette conséquence, qu'une très-petite force, par le moyen d'un levier assez long, peut faire équilibre, ou vaincre une autre force infiniment plus grande. Archimédes avoit donc raison de dire qu'il enleveroit la terre entiere, s'il avoit un point fixe qui en fût séparé : car en établissant sur cet appui un lévier dont le bras du côté de la puissance, surpassât en longueur celui auquel il auroit attaché le globe terrestre, autant ou plus que le poids de ce globe ne l'emporte sur la force d'un homme, il est évident par les principes établis ci-dessus, qu'il eût acquitté sa promes-

ſe, par une démonſtration, ſans doute ; car il eſt inutile de dire, que le levier dont il faudroit faire uſage dans une telle opération, ne peut jamais paſſer que pour un être de raiſon, comme le point fixe qu'il demandoit.

APPLICATIONS.

Les léviers ſont d'un uſage ſi commun non-ſeulement dans les Arts, mais même dans la vie civile & dans le méchaniſme de la nature ; qu'on les rencontre preſque par-tout, pour peu qu'on y faſſe attention. Nous nous bornerons à quelques exemples, pour ne point entrer dans un détail trop long & ſuperflu.

Les Charpentiers, les Maçons & autres Ouvriers qui ont à remuer de grandes pierres, ou de groſſes piéces de bois, ſe ſervent très-ſouvent d'une barre de fer arrondie dans preſque toute ſa longueur, un peu coudée, & applatie par un bout. Cet inſtrument qu'ils appellent communément *pied de chevre*, s'employe principalement de deux manieres. Quelquefois après avoir engagé l'extrémité applatie, qu'on nomme *la pince*,

entre la piéce qu'on veut mouvoir, & le terrein ſur lequel elle repoſe, on fait porter le coude *A*, *Fig.* 10. ſur quelque corps dur, & alors en appuyant ſur l'autre bout de la barre *B*, on ſouleve le fardeau, d'une petite quantité à la vérité, mais aſſez pour donner la liberté de gliſſer deſſous une corde, un rouleau, &c. ce qui ſuffit le plus ſouvent. D'autres fois auſſi on avance un peu plus la pince ſous la piéce qu'on veut remuer, & en ſoulevant la barre, on fait effort contre la partie *C* qui repoſe deſſus. *Fig.* 11.

Le pied de chévre, comme l'on voit, n'eſt autre choſe qu'un levier, qui eſt du premier genre dans l'uſage que nous avons cité d'abord; car le point *A*, qui eſt l'appui, ſe trouve placé entre la puiſſance & la réſiſtance. Dans l'autre uſage, il eſt du ſecond genre, puiſque la réſiſtance ſe fait au point *C*, entre la puiſſance & le bout de la pince qui eſt appuyé par terre.

Comme cet inſtrument s'employe, pour l'ordinaire, à ſoulever de grands fardeaux, l'endroit du coude qui ſert

IX. Leçon. de point d'appui, ou qui reçoit l'effort de la résistance, est toujours fort loin du bout que l'on tient à la main ; ainsi la puissance, toujours beaucoup plus éloignée du point d'appui, que la résistance, a sur elle un avantage considérable par cette position.

Les rames des Bateliers sont des leviers du second genre, dont on appuye un bout contre l'eau, pendant que la puissance appliquée à l'autre bout porte son effort à l'endroit du bateau où la rame est attachée : cet endroit partage la longueur de la rame en deux parties, dont l'une frappe l'eau, pendant que l'autre est mise en mouvement par les bras du Batelier : il seroit sans doute avantageux que l'une & l'autre fussent fort longues ; la premiere, parce qu'elle répondroit à un plus grand volume d'eau, & que le point d'appui en deviendroit plus fixe ; la seconde, parce qu'elle mettroit une plus grande distance entre la puissance & le point d'appui : mais il y a aussi des raisons qui obligent de borner cette longueur de part & d'autre selon les circonstances.

On ne peut allonger les rames du côté de la puiſſance ſans exiger d'elle un plus grand mouvement ; celui d'un homme eſt borné à une certaine étendue, au-de-là de laquelle il travaille avec trop de fatigue : on en peut juger par la manoeuvre des forçats lorſqu'ils ſont quatre ou cinq appliqués à la même rame ; ceux qui ſont au bout, quoique les plus robuſtes, peuvent à peine réſiſter quelques années à ce violent exercice. Dans les petits bateaux où un ſeul homme fait agir deux rames, cette même longueur eſt encore bornée par le peu de diſtance qu'il y a d'un bord à l'autre ; car le Batelier qui eſt aſſis au milieu de cet eſpace, eſt la puiſſance commune à l'une & à l'autre rame.

Les rames qui ſont fort allongées du côté de l'eau, exigent une navigation fort libre ; on ne peut guères en faire uſage dans les petites riviéres, dans celles qui ont beaucoup de ſinuoſités, qui ſont remplies d'iſles & de rochers, ou même dans les ports qui ſont très-fréquentés, à cauſe des embarras qui s'y trouvent ; c'eſt par ces raiſons ſans doute que les ra-

mes varient & de formes & de dimensions, suivant les circonstances des lieux, & les différentes maniéres de les employer.

IX. Leçon.

Le couteau du Boulanger est encore un levier du second genre, lorsqu'arrêté par un bout sur une table, & tournant autour d'un point fixe, il est porté par la main qui tient le manche, contre un pain qu'il entame.

La bascule est un levier du premier genre qu'on reconnoît d'abord, lorsqu'on se représente une longue piéce de bois, appuyée par son milieu, & chargée à ses extrémités de deux personnes, dont l'une est enlevée par l'autre, lorsqu'en touchant le terrein, du pied ou autrement, elle soulage d'une partie de son poids le bras du levier où elle est.

Les ciseaux, les pinces, les pincettes, les tenailles, ne sont encore que des leviers assemblés par paires; l'effort de la main ou des doigts qui ménent les deux branches, doit être considéré comme la puissance; le clou, ou ce qui en tient lieu, est un point fixe commun aux deux; & ce que l'on coupe, ou ce que l'on serre, devient la résistance.

Ceux de ces instrumens qui sont destinés à faire de grands efforts, comme les cisailles des Chaudroniers, ou des Ferblantiers, qui coupent des métaux, ont les branches fort longues par comparaison aux parties tranchantes qu'on nomme les *Couteaux* : de cette maniere la puissance agissant par un bras de levier très-long, est capable de vaincre une résistance fort grande. Par la raison du contraire, dans les pincettes qu'on nomme *Badines*, & qui n'ont d'autre effort à faire, que de transporter quelques charbons, cette légere résistance se fait aux extrémités de deux longues branches, qui sont des leviers du troisiéme genre; l'endroit où ils se joignent par une charniére ou par un ressort foible, doit être regardé comme le point d'appui; & la main qui les fait agir, est la puissance.

Les ciseaux dont on se sert pour découper ont les branches fort longues, & les lames très-courtes; ce n'est pourtant pas qu'on ait besoin d'une grande force pour couper du papier mince : mais comme dans la découpure on a souvent de petites

IX. LEÇON.

parties à réserver, il faut que l'on puisse arrêter à propos les ciseaux; & cela se peut faire facilement, quand le mouvement des doigts qui meut les branches, a beaucoup plus d'étendue que celui des lames.

Enfin les bras, les doigts, les jambes des animaux sont encore des leviers ou des assemblages de leviers, par lesquels la force des muscles est employée de la maniere la plus convenable & la plus avantageuse, soit pour transporter le corps, soit pour approcher de lui tout ce qui lui est nécessaire ou utile, soit pour en écarter tout ce qui lui seroit nuisible. Un Auteur célébre * a fait connoître en détail, & dans un ouvrage exprès, ce qu'il y a de plus remarquable dans cet admirable Méchanisme; ceux qui ont du goût pour l'anatomie y trouveront de quoi le satisfaire.

* *Borelli, de motu animalium.*

DANS les deux premieres expériences, le levier étant soutenu horizontalement, nous avons employé pour puissance & pour résistance des corps pesans dont les efforts se faisoient dans des directions verticales, c'est-à-dire, qu'elles faisoient des angles droits

avec la longueur du levier au moment que ces forces commençoient à agir. Mais il peut arriver, & il arrive très-souvent, soit par la situation du levier, soit par la nature des puissances qu'on employe, que leurs efforts se font obliquement; & comme en général toute force qui agit obliquement, a moins d'effet que celle dont l'action est directe, il est important de connoître ce qu'on doit attendre de cette obliquité dans l'usage des leviers.

Lorsque les directions de la puissance & de la résistance sont obliques à la longueur du levier, il peut arriver qu'elles le soient toutes deux également; il peut se faire aussi que ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, & que l'une ou l'autre soit plus ou moins inclinée au levier; dans ces différens cas, voici ce qu'il y a de plus important à sçavoir.

1°. L'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du levier, par l'extrémité duquel elle agit. Ainsi le poids *B*, *Fig.* 12. ne suffiroit plus pour soutenir ce-

lui qui est en *A*, si, au lieu de peser dahs la direction *b B*, il faisoit son effort obliquement, comme *b D*, ou *b E*.

IX. Leçon.

2°. Deux forces qui agissent l'une contre l'autre, par les deux bras d'un même levier, gardent entr'elles le même rapport, si leurs directions, de perpendiculaires qu'elles sont, deviennent également obliques au levier. C'est-à-dire, que si les poids *P*, *R*, *Fig.* 13. sont en équilibre, cet état subsistera entr'eux; si leurs directions, s'inclinant au levier, demeurent paralléles l'une à l'autre comme *a p*, *b r*.

3°. Si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, de sorte que l'une des deux fasse avec le bras du levier, un angle plus ou moins grand que l'autre; celle des deux qui s'écartera davantage de l'angle droit, toutes choses égales d'ailleurs, rendra la puissance plus foible. Une force qui ne seroit donc que suffisante pour soutenir la masse Q, en agissant selon la direction *P p*, *Fig.* 14. ne le seroit plus si elle sortoit de cette ligne; & elle le seroit d'autant moins, qu'elle

s'éloigneroit davanrage en se plaçant aux points *c*, *d*, *e*, *f*. Trois expériences rendront ces propositions évidentes.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 15. représente une planche bien unie, & élevée verticalement sur une base; en *F*, on a fixé une châsse assez semblable à celle d'une balance, pour servir de soutien à un levier *GH*, qui s'y meut librement sur deux pivots; *IK*, est une regle qui glisse dans une coulisse, & qui porte en son extrémité une poulie qui est très-mobile. On fait passer sur cette poulie un cordon fort menu qui tient d'une part à l'extrémité *H* du levier, & qui est garni par l'autre bout d'un petit crochet qui sert à suspendre un poids. Par le moyen de la poulie & de la regle mobile sur laquelle elle est fixée, on peut varier comme l'on veut la direction du cordon, & par conséquent celle de la puissance qu'on y attache.

On met d'abord en équilibre deux

poids dans des directions perpendiculaires aux bras du levier ; & ensuite en faisant passer le cordon sur la poulie, on rend oblique la direction de l'un des deux poids comme *a P*, ou *a D*, *Fig.* 16.

EFFETS.

Lorsque la direction du cordon n'est plus perpendiculaire au levier, l'effort de la puissance *P*, ne suffit plus pour soutenir le poids de l'autre part, & l'équilibre ne se rétablit point jusqu'à ce que le cordon revienne dans la direction *a C*.

EXPLICATIONS.

Le poids étant en *C*, fait équilibre à la résistance *E*, parce qu'il agit directement contr'elle ; car sa direction *a C*, étant paralléle à *b E*, c'est comme si ces deux forces étoient toutes deux opposées dans la même ligne. Ce levier du premier genre dont les bras sont égaux, ne fait rien autre chose que de mettre les deux forces en opposition : si l'une des deux *E*, tendoit naturellement de bas en-haut, on pourroit la placer en *a*, & l'é-

quilibre ſubſiſteroit de même entr'elles, pourvû que leurs directions reſtaſſent directement contraires. Cette oppoſition directe eſt donc une condition abſolument néceſſaire : par conſéquent, lorſque l'une des deux forces a ſa direction perpendiculaire à l'un des bras du levier, toutes choſes égales d'ailleurs, il faut que l'autre, pour lui être égale, faſſe auſſi un angle droit avec l'autre bras ; & ſi elle s'écarte de cette direction d'un côté ou de l'autre, ſon effort doit être moins grand. Suppoſons, par exemple, que la puiſſance agiſſe ſelon la ligne *a d*; il eſt évident que la réſiſtance *E*, ne ſeroit nullement ſoutenue : elle le ſera donc d'autant moins, que la direction de la puiſſance ſera plus inclinée au bras du levier par lequel elle agit, ou qu'elle s'écartera davantage de la ligne *a C*, perpendiculaire à ce même levier.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre le levier *G H*, de la machine repréſentée par la *Fig.* 15.

IX. LEÇON.

dans une poſition oblique comme *h i*, & ſuſpendre aux extrémités deux poids égaux.

EFFETS.

La direction de la puiſſance & de la réſiſtance, étant celle qui eſt naturelle à tous les corps graves, eſt la même de part & d'autre; elle forme avec le levier incliné, des angles ſemblables, *l i F*, *h F k*; cette égalité d'angles ſubſiſte, quelque degré d'inclinaiſon qu'on faſſe prendre au levier, & les deux poids conſervent toujours leur équilibre.

EXPLICATIONS.

Lorſque le levier étoit horizontal comme *G H* *, la diſtance perpendiculaire à la direction des puiſſances, étoit la même que la longueur des bras *E G*, *F H*, qui étoit égale de part & d'autre; le levier s'étant incliné comme *h i*, cette diſtance à la direction perpendiculaire de chaque poids, a diminué des quantités *l H*, *k G*; mais ces quantités ſont égales entr'elles, par conſéquent les reſtans *l F*, *k F*, conſervent entr'eux le mê-

* Fig 15.

me rapport qu'auparavant ; c'est pourquoi l'inclinaison du levier n'a rien changé à l'équilibre des deux poids.

IX. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Par le moyen de la machine * qui a servi dans les deux expériences précédentes, on met en équilibre deux poids égaux aux bras d'un levier horizontal ; ensuite on fait passer le cordon qui suspend l'un des deux poids sur la poulie *K*, que l'on fait avancer plus ou moins, pour donner à ce poids successivement les directions, *a d*, *af*, *Fig.* 17.

* *Fig.* 15.

EFFETS.

Plus la direction de la puissance devient inclinée au levier, plus il faut ajouter à sa masse pour la maintenir en équilibre avec celle de l'autre part : c'est-à-dire, que si elle étoit d'une livre lorsqu'elle étoit dans une direction perpendiculaire au levier, il en faut une & demie quand la direction est *a d*, & trois quand elle est *a f*.

EXPLICATIONS.

IX. LEÇON.

Puiſque l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſqu'elle agit ſelon la direction *a P*, perpendiculaire au levier, comme nous l'avons prouvé par la troiſiéme expérience ; c'eſt une conſéquence néceſſaire qu'elle ait moins de force, lorſqu'on l'employe dans toute autre direction : & comme elle n'avoit qu'une force égale à la réſiſtance, étant dans la poſition la plus avantageuſe ; elle doit être inſuffiſante, lorſqu'elle reçoit les directions obliques *a d*, *a f*, c'eſt pourquoi l'on ne peut alors entretenir l'équilibre qu'en compenſant par une augmentation de maſſe dans la puiſſance, ce qu'elle perd par l'obliquité de ſa direction.

Pour juger de cette diminution qu'il faut compenſer, ou pour connoître de combien la puiſſance s'affoiblit par les différens degrés d'obliquité qu'on fait prendre à ſa direction, prolongeons ces directions par des lignes indéfinies *a i*, *a k*. Imaginons enſuite que le bras du levier *a c*, tourne ſur ſon point d'appui, & qu'il décrit

décrit une portion de cercle, *a g h i k*; il y aura un point dans sa longueur *m* ou *n*, sur lequel la direction prolongée tombera perpendiculairement; c'est donc sur ce point que la puissance exerce toute sa force; mais ce point, comme l'on voit, n'est plus à l'extrémité du bras du levier; sa distance au point d'appui est beaucoup moindre; en un mot, quand la direction de la puissance est oblique comme *a d*, c'est comme si elle étoit perpendiculaire au point *b*; & lorsqu'elle agit par la ligne *a f*, elle n'a que la force qu'elle auroit, si elle étoit suspendue au point *e*: or ces deux points *e*, *b* partagent ce bras du levier en trois parties égales, & puisque l'autre bras est de même longueur, il a trois parties semblables à celles-ci. La masse *R*, étant d'une livre multipliée par trois de distance au point d'appui, donne 3, qui est la valeur de la résistance; si nous suspendons une autre masse en *b*, pour servir de puissance, il faut qu'elle soit d'une livre & demie, qui multipliée par deux de distance, égalera le produit de l'autre part: & si nous la pla-

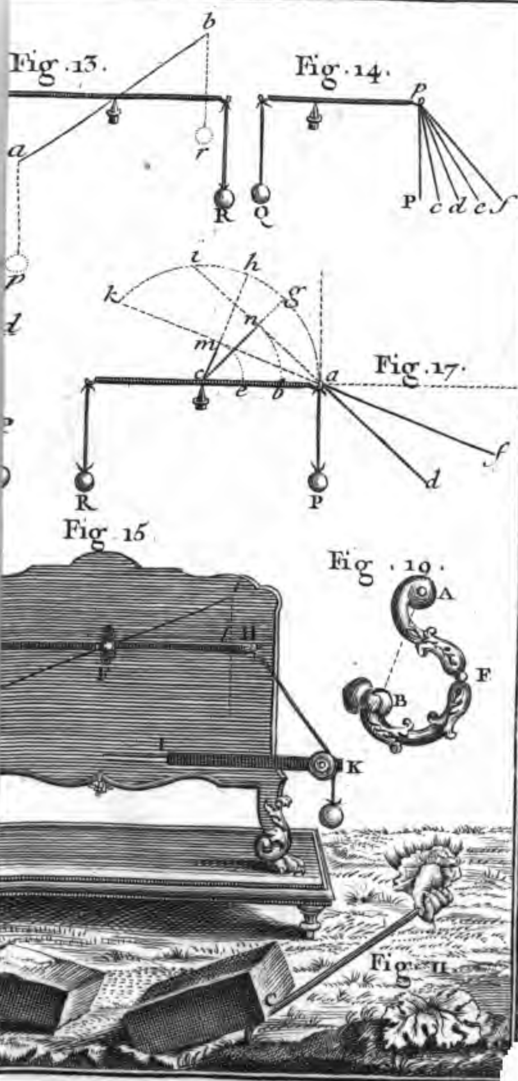


IX. LEÇON. çons en *e*, la distance au point d'appui n'étant plus que 1, il faut nécessairement 3 de masse pour faire équilibre.

Ces masses 1 livre ½ & 3 liv. sont, comme l'on voit, en raison réciproque des distances *b c*, *e c*, que l'on met entr'elles & le point d'appui ; elles ont aussi le même rapport avec les lignes *c m*, & *c n*, qui sont doubles l'une de l'autre ; & comme celles-ci, sont les sinus des angles *a c m*, *a c n*, on peut comprendre d'une maniere plus générale tout ce que nous venons d'expliquer, par cette proposition : *les différens efforts d'une puissance appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon différentes directions, sont entr'eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le levier.*

Il suit aussi de cette proposition, que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être quand la direction est perpendiculaire au levier, comme nous l'avons déja prouvé * : car alors, elle fait un angle droit *Pac*, dont le sinus est *a c* ; c'est-à-dire, le rayon même ou le bras entier du levier.

* III. Exp. p. 35.


Fig. 13.
b
a
r
R
p
d
Fig. 14.
p
Q
P
c
d
e
f
i
h
k
g
n
m
c
e
b
a
Fig. 17.
R
P
d
f
Fig. 15
Fig. 19.
A
H
F
B
F
I
K
Fig. 11.

APPLICATIONS.

Il y a quantité de machines & d'instrumens, qu'on fait mouvoir par le moyen d'un bras de levier, qu'on nomme *manivelle*.

Quelque figure qu'on lui donne, soit qu'on la courbe comme celle du gagne-petit, *Fig.* 18. & la plûpart de celles des rouets qu'on fait tourner avec le pied, soit qu'on la façonne en *S*, *Fig.* 19. comme le sont ordinairement celles des vielles; elle se réduit toujours à un bras de levier droit, dont la longueur est déterminée par la distance qu'il y a entre le manche *B* & l'œil *A*, qui reçoit le bout de l'arbre tournant.

Dans les cas où la résistance n'est pas bien considérable, il importe peu quel angle fasse la direction de la puissance avec la ligne *AB*; mais lorsqu'il faut mener de grandes manivelles, avec beaucoup de force, on s'apperçoit bientôt que l'effort avec lequel on agit, n'a pas un avantage égal dans tous les points de la révolution. Cette inégalité vient des différentes manieres dont la puissance

IX. LEÇON. ſe trouve dirigée au bras du levier pendant qu'il tourne : c'eſt ce que l'on concevra facilement, ſi l'on imagine que la manivelle *CH*, *Fig.* 20. reçoit ſon mouvement circulaire d'une régle *DH*, qui lui eſt jointe, & qui la pouſſe & la tire alternativement. Car ſelon ce que nous avons prouvé par la troiſiéme expérience, cette régle agit avec tout l'avantage qu'elle peut avoir, lorſqu'elle fait avec la manivelle un angle droit comme *CHD*, ou *Cik*, ſoit en pouſſant, ſoit en tirant. Mais lorſque la manivelle eſt aux points *b*, ou *e*, on voit que la direction de la puiſſance, repréſentée par la régle, fait avec elle des angles de plus en plut aigus, & que cette obliquité diminue beaucoup de l'effort.

Ce que nous diſons de la régle *DH*, il le faudroit dire du bras d'un homme, appliqué à une manivelle, s'il ne faiſoit que tirer & pouſſer dans la même direction : mais il fait plus ; lorſque ſon effort s'affoiblit par une direction déſavantageuſe en pouſſant, il avance ſon corps, de ſorte qu'une partie de ſon poids ſe porte

dans la direction bf, ou eg; lorſqu'il tire, il ſe baiſſe & ſe renverſe un peu; & par ces différens moyens, il redreſſe, pour ainſi dire, la direction de la puiſſance, & l'angle qu'elle fait avec la manivelle demeure plus ouvert qu'il ne le feroit, ſans ces mouvemens du corps, qui ſe font ſans attention, & par des ouvriers les plus groſſiers, qui n'ont pris ſur cela que les leçons de la Nature & de l'habitude.

Mais ces ſortes de mouvemens ne ſe font pas ſans fatigue; il eſt toujours vrai de dire, que celui qui tourne la manivelle, n'eſt en pleine force que dans certaines parties de la révolution: c'eſt peut-être pour cette raiſon que dans les machines qui ſe meuvent avec deux manivelles, on eſt dans l'uſage d'oppoſer la longueur de l'une à celle de l'autre, comme *EF*, & *GH*, *Fig.* 21. afin que des deux hommes qui les menent, l'un ſe trouve dans une poſition favorable, pendant que l'autre travaille avec déſavantage: mais cette diſpoſition ne me paroît pas la meilleure qu'elle puiſſe être: j'aimerois mieux que les deux manivelles fiſſent en-

IX. LEÇON.

semble un angle droit, que d'être opposées directement. Car si l'on partage la révolution entiere en quatre quarts, on peut voir par la *Figure* 20. qu'un homme qui éléve la manivelle d'*I* en *m* par l'action des muscles, ou qui l'abaisse de *b* en *n* par l'effort de son poids, a beaucoup plus de force que quand il la porte en avant d'*m* en *b*, ou qu'il la tire à lui d'*n* en *l*: mais ces deux dernieres parties comme les premieres, sont directement opposées entr'elles; quand on oppose de même les deux manivelles, ceux qui les font agir, se trouvent donc en même tems en pleine force, & en même tems aussi dans les positions les moins favorables: la même chose n'arriveroit pas, si les manivelles faisoient entr'elles un angle droit, l'un des deux parcouroit l'arc *l m*, pendant que l'autre passeroit par l'espace *m b*.

Pour changer la direction du mouvement, il arrive souvent, qu'au lieu d'employer un levier droit, on dispose les deux bras de maniere qu'ils font un angle au point d'appui, comme *IKL*, *Fig.* 22. Ces leviers angulai-

res, qu'on nomme auſſi *manivelles* IX. Leçon.
coudées, ſont fort en uſage pour les pompes, pour les mouvemens des ſonnettes qu'on place dans les appartemens, pour la ſonnerie des horloges & des pendules, & dans une infinité d'autres occaſions où l'action du moteur ne peut ſe tranſmettre que par des voies indirectes. Ils ont les mêmes propriétés qu'un levier droit; car lorſqu'en tournant, ces deux bras diſpoſés en équerre ſe trouvent obliques aux directions *m l*, *i n*, de la puiſſance & de la réſiſtance, cette obliquité eſt égale de part & d'autre; *o K l*, *i K h*, ſont ſemblables; en un mot, les diſtances du point d'appui *K*, aux directions perpendiculaires, *m o*, *i h*, ſont entr'elles dans les mêmes rapports que *L K*, & *I K*.

Ce que nous avons nommé juſqu'ici, le point d'appui, doit être conſidéré comme une troiſiéme puiſſance qui fait équilibre à la force motrice ou à la réſiſtance, ou qui concourt avec l'une des deux pour porter l'effort de l'autre: dans les leviers du premier genre, par exemple, le point d'appui ſoutient l'effort

IX. Leçon.

des deux forces qui ſont oppoſées de part & d'autre; dans ceux du ſecond & du troiſieme genre, il ne porte qu'une partie de l'une des deux.

Ce n'eſt pas toujours un point fixe & inébranlable qui ſert d'appui; le plus ſouvent ce ſont des corps fléxibles ou qui peuvent s'écraſer, ou bien des corps animés, dont la réſiſtance n'eſt point à l'épreuve de tout effort. Lorſqu'une poutre, par exemple, repoſe par ſes extrémités ſur les deux murs d'un bâtiment, ſon propre poids ou celui dont elle eſt chargée, les feroit s'écrouler s'ils n'étoient bâtis aſſez ſolidement. Les mulets qui portent des brancarts ſuccombent ſous la charge quand elle excéde leurs forces. Il eſt donc important de ſçavoir de combien eſt chargé le point d'appui, ou ce qui en fait l'office, lorſque deux autres forces agiſſent l'une contre l'autre ſur le même levier, afin de le pouvoir mettre en proportion avec l'effort qu'il doit ſoutenir: & comme ce point d'appui pourroit bien être de nature à ne pas réſiſter également dans toutes ſortes de directions, il faut examiner

miner aussi comment se dirige l'effort qu'il soutient par les différentes directions qu'on peut donner à la puissance & à la résistance. Nous avons fait voir précédemment, que l'action d'une puissance quelconque appliquée au bras d'un levier, résulte de deux choses : 1°. De sa masse, ou du poids auquel elle équivaut, si c'est un ressort, l'effort d'un animal, ou toute autre force qui n'agit point en vertu de la pesanteur ; 2°. De sa distance au point d'appui ; & nous avons fait connoître d'où il faut compter cette distance. * L'effort qui vient de la masse & qu'on peut nommer *absolu*, est limité ; une livre, ou l'action d'une puissance équivalente à une livre, lorsqu'elle pése sur le bras d'un levier, dans la direction la plus avantageuse, ne peut que faire équilibre à un pareil poids qui lui est opposé avec les mêmes circonstances. Mais l'effort qui vient de la distance au point d'appui peut croître à l'infini ; de sorte que si l'un des deux bras étoit 100 fois aussi long que l'autre, une livre deviendroit équivalente à 100. Quelle sera donc

IX. LEÇON.

* V. Exp. Fig. 17.

IX. LEÇON. la charge sur le point d'appui, premiérement, s'il y a équilibre avec égalité de masse ; secondement, si les masses ou les forces sont en équilibre par l'inégalité de leurs distances au point d'appui ?

Pour répondre à la premiére question, je dis que si les directions de la puissance & de la résistance sont paralléles entr'elles, le point d'appui se trouve chargé de la somme des deux forces absolues, & son effort se fait dans une direction paralléle à celles de la puissance & de la résistance.

Mais si les directions des deux forces opposées sont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort absolu ; il en porte d'autant moins qu'elles sont plus inclinées au levier ; & sa résistance tend au point de concours de ces deux directions : deux expériences serviront d'éclaircissemens & de preuves.

VI. EXPERIENCE.

Preparation.

Au revers de la machine qui est re-

présentée par la *Figure* 15. on a fixé, à deux pouces de distance du plan, les poulies *A* & *B*, *Fig.* 23. qui sont très-mobiles sur leurs axes; & par le moyen desquelles on suspend horizontalement un levier d'acier *D E*, que l'on tient en équilibre avec les deux petits poids *p*, *r*; on suspend ensuite au poids *C* un poids de 4 onces, & aux bouts des cordons deux autres poids, *P*, *R*, qui pésent chacun 2 onces.

Effets.

Tout étant ainsi disposé, le poids qui est en *C* tient les deux autres *P*, *R*, en équilibre; si l'on ôte les deux petits, *p*, *r*, le poids de 4 onces descend par la ligne *C I*; il remonte au contraire par la ligne *C F*, si l'on ajoute également aux masses *P*, *R*.

VII. EXPÉRIENCE.

Preparation.

Cette expérience se prépare comme la précédente, excepté que le levier *IK*, *Fig.* 24. est plus court que *D E*, *Fig.* 23, & que le poids *L* n'est que de 3 onces.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Les deux directions *K N*, *I Q*, des deux puissances *P*, *R*, étant obliques au levier, à quelque dégré d'obliquité que ce soit, le poids *L* est toujours moindre que 4 onces pour faire équilibre aux deux autres qui pesent chacun deux onces : si les directions *K N*, *I Q*, deviennent moins obliques au levier, comme *N O*, *Q S*, il faut augmenter la masse *L* pour conserver l'équilibre ; & quand ce poids descend ou remonte, c'est toujours par la ligne *L M*.

EXPLICATIONS.

Dans ces deux dernieres expériences, on peut regarder le poids *P* comme la puissance, *R* comme la résistance, & la masse qui est suspendue au point *C*, ou *L*, comme la valeur de l'effort qui se fait au point d'appui lorsque tout est en équilibre ; car il est évident que sans ce dernier poids, le levier seroit emporté de bas en haut par les deux autres puissances. Or il faut 4 onces au point *C*, quand les deux masses *P*, *R*, sont chacune

de deux onces, & que leurs actions sont toutes deux dans des directions perpendiculaires au levier, comme *AD*, *BE* *; nous avons donc eu raison de dire, qu'en pareil cas le point d'appui est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance; & puisque le poids qui représente l'effort du point d'appui se meut dans la ligne *IF*, quand il devient plus fort ou plus foible; c'est une marque qu'il agit suivant cette direction, qui est, comme nous l'avons annoncé, parallele à celles de la puissance & de la résistance.

* Fig. 23.

Dans l'autre expérience, on voit encore la preuve de ce que nous avons avancé; le poids qui suffit pour arrêter le point *L* du levier contre les efforts qui se font en *I* & en *K*, n'est jamais de 4 onces; comme il faut qu'il le soit, quand les directions des puissances sont perpendiculaires au levier; ce qui prouve bien que le point d'appui n'est plus chargé de la somme entiere des deux masses *P*, *R*; & cela doit être ainsi, puisque, comme nous l'avons prouvé & expliqué, l'action d'une puissance est d'autant

IX. LEÇON.

diminuée, que sa direction est oblique au bras du levier par lequel elle agit : enfin l'effort du point d'appui se dirige au point *M*, parce que c'est là que se réunissent, par leurs tendances, les deux forces ausquelles il résiste.

Quant à la seconde question, sçavoir quel est l'effort qui se fait sur le point d'appui lorsque la puissance & la résistance se mettent en équilibre par des distances inégales entr'elles & le point d'appui : je réponds que cet effort n'est jamais plus grand que la somme des forces absolues ou des masses qui sont opposées ; c'est-à-dire, que si le poids d'une livre en soutient un de 12, parce qu'il agit par un bras de levier qui est douze fois plus long que celui de l'autre part, le point d'appui ne peut jamais être chargé que de 13 livres, & non pas de 24 ; & son effort se dirige comme dans les cas précédens, parallélement aux directions des forces qu'il soutient, si ces directions sont paralléles entr'elles, ou bien directement au point de leur concours, si elles sont inclinées l'une à l'autre.

VIII. EXPERIENCE

Preparation.

Sur une même base *A B*, *Fig.* 25. on a élevé deux piliers qui glissent dans deux mortaises, de maniere qu'ils peuvent s'approcher & s'écarter l'un de l'autre; *C*, *C*, sont deux poulies, sur chacune desquelles passe un petit cordon pour soutenir une petite tringle d'acier *E E*, par le moyen des deux petits poids *D*, *D*; la piéce *FG*, est une verge de fer qui est un peu entaillée en-dessous aux $\frac{3}{4}$ de sa longueur, & qui, par le moyen d'un poids que l'on attache en *F*, se met en équilibre avec elle-même, & avec les petits poids *D*, *D*, que l'on augmente autant qu'il le faut pour cet effet.

On suspend d'abord en *F*, un poids de 6 onces; en *G*, un autre poids de 2 onces; & l'on ajoute aux petits contre-poids qui sont en *D*, *D*, deux masses de 4 onces chacune. Voyez la *Fig.* 26, où l'on a représenté, par des lettres de mêmes noms, celles de ces quantités seulement qui intéressent la théorie.

EFFETS.

IX. LEÇON.

Il y a équilibre par-tout : 1°. Entre les deux masses inégales qui sont appliquées au levier *fg* ; 2°. Entre ce levier qui est ainsi chargé, & les deux poids *d*, *d*, qui soutiennent le point d'appui *e e*, ou plutôt, qui représentent son effort ; & si l'on souleve un peu ces deux derniers poids, aussitôt le point d'appui descend par la ligne *e K*.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut écarter l'un de l'autre les deux piliers *A*, *B*, de la machine que nous avons décrite *, ensorte que la direction du cordon de chaque côté devienne oblique au levier, comme *ce*, *ce*, *Fig.* 27 ; ensuite la verge *fg*, ayant été avancée jusques aux deux tiers de la longueur de la tringle d'acier *e e*, on met en *L* & en *M* des masses telles qu'il les faut pour tenir le tout en équilibre.

* Fig. 25.

EFFETS.

Alors le poids *L* se trouve être de

8 onces, & celuiqui est en *M*, de 4 onces, ce qui fait en somme 12 onces de masse; & lorsqu'on diminue cette quantité, ou qu'on souleve ces deux poids, le point d'appui *H* descend en suivant la ligne *HI*, ce qui s'apperçoit facilement, si l'on place derriere un fil à plomb. La même chose arrive, si l'on met en *H* un poids de 8 onces au lieu du levier *f g* chargé de ses deux poids.

EXPLICATIONS.

Dans la huitiéme expérience, il y a équilibre entre une masse de 6 onces & une autre de 2 onces; parce que celle-ci qui n'est que le tiers de l'autre est trois fois autant éloignée qu'elle du point d'appui; & nous avons fait voir qu'en pareil cas l'excès de vîtesse d'une part, compense l'excès de la masse de l'autre part: mais quoiqu'une puissance augmente à mesure que le bras du levier devient plus long, il ne paroît pas que cet accroissement charge aucunement le point d'appui, puisque l'effort qui se fait en *g* *, quoiqu'équivalent au poids de

* Fig. 26.

IX. LEÇON. 6 onces qui pése en *f*, ne produit point en *e* la somme de 12, mais seulement celle de 8, exprimée par les deux poids *d*, *d*, de 4 onces chacun, & égale aux deux masses qui sont en équilibre aux bras du levier *fg*. La même chose se prouve encore plus directement par la neuviéme expérience, puisqu'en substituant en *H* * un seul poids qui égale en masse celle du levier chargé, les mêmes effets subsistent.

* Fig. 27.

Si rien ne soutenoit le levier, * que les deux puissances restassent en équilibre entr'elles, & perpendiculaires aux extrémités *f* & *g* : il est évident que tous les points compris entre ces deux derniers, tomberoient par des lignes paralléles à celles des puissances; & c'est ce que l'on voit arriver lorsqu'on souleve un peu les deux poids *d*, *d* : le point d'appui descend par la ligne *e K*; cette ligne exprime donc sa tendance de bas-en-haut, ou la direction de son effort.

* Fig. 26.

On peut dire aussi que si ces puissances cédoient de part & d'autre à l'effort qui se fait au point *H*, * pourvû qu'en cédant elles ne changeassent

* Fig. 27.

point de rapport, les deux extrémités du levier décriroient en descendant, les paralléles *e N*, *e O*, & le point d'appui se trouveroit toujours dans la ligne *H I*; son effort se fait donc dans cette ligne où les directions des puissances se joignent lorsqu'elles sont inclinées entr'elles.

APPLICATIONS.

Puisque l'on peut sçavoir combien il se fait d'effort sur un appui, ou sur tout ce qui en fait l'office, lorsque l'on connoît la valeur absolue des puissances & leurs directions à l'égard du levier, par lequel elles agissent; on peut donc prévenir les accidens qui pourroient naître des disproportions, ou mettre à profit des forces qu'on regarderoit comme insuffisantes si l'on ne sçavoit pas les appliquer avec tout l'avantage qu'elles peuvent avoir.

Que l'on place par exemple, une charge de 200 livres au milieu d'un levier dont les extrémités reposent sur les épaules de deux hommes; ces deux appuis suffiront au fardeau, si chacun des porteurs est capable de

soutenir 100 livres. Mais si l'un des deux n'en peut porter que 50, quand bien même l'autre pourroit suffire à un effort de 150 livres, le plus foible ne succombera pas moins, tant que le fardeau sera à égales distances entre son collégue & lui; & tous deux deviendront inutiles pour l'ouvrage qu'on en attendoit. Mais que l'on place la charge plus loin du porteur le plus foible, & que les bras du levier devenus inégaux, soient en raison réciproque des efforts dont les deux hommes sont capables; & alors le fardeau sera soutenu, comme il auroit pû l'être d'abord par deux autres hommes qui auroient pû suffire chacun à un effort de 100 livres.

Qu'un Charpentier porte une solive, c'est toujours à peu-près par le milieu de la longueur qu'il la pose sur son épaule: en la plaçant ainsi, il ne porte que le poids de la piéce de bois, parce que les deux bouts qui passent de part & d'autre, se font équilibre réciproquement; & le point d'appui n'est chargé que de la somme totale des deux masses. Mais s'il la posoit aux deux tiers, ou aux trois

quarts de sa longueur, il seroit obligé, pour l'empêcher de tomber, de la retenir avec ses bras par le bout le plus court; & cet effort seroit équivalent à un poids qui feroit équilibre avec l'excès de longueur que la solive auroit du côté opposé : l'épaule du porteur seroit donc inutilement chargée de cette quantité de plus.

Ces deux exemples que je viens de citer sont si simples, & se rencontrent si fréquemment, que la plupart de ceux qui nous donnent lieu de les remarquer, suppléent au raisonnement par l'habitude & par le seul instinct de la nature. Mais il y a une infinité de cas où l'on a besoin d'être instruit & de réfléchir, & où l'on ne réussit que par une application raisonnée de ces mêmes principes dont nous avons naturellement une idée confuse.

Ce n'est aussi qu'en réfléchissant sur ces loix de la nature, qu'on peut se rendre compte d'un nombre infini de précautions & d'usages que nous adoptons dès l'enfance, ou que nos besoins & la seule industrie ont fait naître.

IX. Leçon.

Pourquoi, par exemple, un homme qui tire un bateau ou quelque fardeau attaché au bout d'une corde, se penche-t-il en avant ? c'est qu'il appuie l'action des muscles sur une partie du poids de son corps pour vaincre la résistance contre laquelle il agit. Mais s'il manque de point fixe, si celui qu'il a ne l'est point assez, soit par sa nature, soit par une direction désavantageuse ; s'il marche sur un plan mobile, tel qu'un bateau qui n'est point arrêté; s'il est sur un terrein glissant ou incliné ; toutes ces causes, qui se réduisent à un défaut d'appui, rendent ses efforts inutiles, ou en diminuent les effets.

C'est pour prévenir des inconvéniens de cette espéce, que l'on jette de la cendre ou du fumier, sur les endroits fréquentés qui sont couverts de verglas, & que dans les grands hyvers on met des pointes aux fers des chevaux, ce que l'on nomme, *ferrer à glace.* Sans cette pointe ou talon que l'on pratique aux patins pour piquer la glace, où pourroit-on prendre son point d'appui pour s'élancer sur un plan dont l'avantage le plus

considérable est de n'avoir aucune inégalité qui puisse arrêter le pied ? Les peuples du Nord qui sont obligés le plus souvent de voyager sur la neige, marcheroient sur un appui qui ne seroit point assez fixe, s'ils ne prenoient la précaution de se mettre aux pieds des espéces de raquettes, beaucoup plus larges que la semelle de nos souliers, par ce moyen ils s'appuyent en marchant sur une plus grande partie du plan, ce qui supplée à son défaut de solidité. IX. LEÇON.

Quand des chevaux tirent une voiture en montant, ce qui les fatigue, n'est pas seulement le poids de la charge qui est alors moins soutenue par le terrein, c'est encore l'inclinaison de ce terrein qui leur présente le point d'appui dans une direction fort oblique à celle de leur effort, car leurs jambes, en se roidissant contre le terrein, s'inclinent dans le même sens que lui; & l'on conçoit bien que plus elles s'approchent du parallélisme, moins les pieds sont appuyés : c'est pourquoi l'on pratique souvent dans ces sortes de chemins certaines inégalités qui facilitent le tirage; sem-

IX. LEÇON. blables à peu-près aux marches de nos escaliers, qui présentant un plan horizontal à l'effort du pied qui se fait dans une direction presque verticale, résistent beaucoup mieux que ne pourroient faire des portions du plan incliné sur lesquelles elles sont établies.

Ceux qui sont dans l'usage de tourner doivent sçavoir combien il est nécessaire qu'un levier soit bien appuyé, pour soutenir les efforts opposés de la puissance & de la résistance : car qu'est-ce qu'un ciseau, une gouge, un burin, sinon un levier du premier genre appuyé sur un support, & dont la main du tourneur porte le tranchant ou la pointe contre un morceau de bois, de cuivre, de fer, &c.? Si le support n'est pas bien ferme par lui-même, s'il n'est pas proportionné aux efforts qu'il doit soutenir, si sa position, ou celle de l'outil qu'il soutient, donne à sa résistance une direction désavantageuse, il en résulte, comme l'on sçait, beaucoup de mauvais effets; les matieres dures se tournent par ondes, (ce qu'on appelle, *guillocher*,) celles qui sont tendres

s'arrondissent

s'arrondissent imparfaitement, l'outil s'engage, & fait de faux traits; en un mot, c'est un défaut essentiel dans un tour, lorsque ce qui doit servir d'appui aux outils, manque ou de solidité ou de mouvemens nécessaires pour lui donner les directions les plus convenables; & celui qui ne sçait pas placer le support avantageusement, n'est point un habile tourneur.

DES MACHINES.

Qui sont composées de Leviers, ou qui agissent comme des Leviers.

Les leviers entrent dans la construction d'un si grand nombre de machines, qu'il ne seroit pas possible de les y faire remarquer par un détail exact. Les Auteurs qui ont traité le plus amplement de la méchanique, se sont dispensés avec raison, de cet examen superflu, & se sont contentés, après avoir établi les principes, d'indiquer par quelques exemples choisis; l'application qu'on en fait dans les arts: les bornes que nous nous sommes prescrites, exigent que nous en usions avec encore plus de

IX. LEÇON.

réserve ; c'est pourquoi nous ne parlerons ici que des machines les moins composées, de celles qui s'éloignent si peu de la simplicité du levier, qu'on les compte quelquefois au nombre des machines simples.

De la Balance commune & de la Romaine.

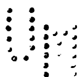
La balance ordinaire représentée par la *Figure* 28. est une machine qui sert à mettre en équilibre deux quantités égales de matiere, de sorte que si l'on connoît le poids de l'une, on sçait, par ce moyen, combien pése l'autre.

Cette machine est composée d'un *fléau AB*, dont la longueur est partagée en deux parties égales par un *axe ;* de deux *bassins*, *C*, *D*, suspendus aux deux extrémités des bras du fléau, & d'une *chasse E F*, qui sert d'appui à l'axe, où est le centre du mouvement.

On reconnoît facilement que cette balance n'est autre chose qu'un levier partagé en deux bras égaux par son appui, & chargé des efforts d'une

puiſſance & d'une réſiſtance dont les directions ſont paralléles entr'elles, & perpendiculaires à ſa longueur, lorſqu'il eſt horizontal comme *A B*; ou faiſant avec elle des angles égaux de part & d'autre, lorſqu'elle eſt inclinée comme *a b*; de ſorte que s'il étoit poſſible de faire une balance d'une matiere infléxible & ſans peſanteur, nous aurions peu de choſes à ajouter à ce que nous avons dit & prouvé précédemment. Mais comme la néceſſité où l'on eſt de faire le fléau de quelque matiere dure telle que du fer ou du cuivre, & de lui donner une figure & des dimenſions qui l'empêchent de plier, fait quelquefois perdre de vûe ce que preſcrit la théorie; je crois qu'il eſt à propos d'examiner en peu de mots ce qui peut rendre une balance juſte ou défectueuſe.

Les qualités eſſentielles d'une balance ſont, 1°. d'être bien mobile, c'eſt-à-dire, que la plus petite différence entre les deux quantités de matiére dont elle eſt chargée faſſe trébucher le fléau, afin qu'on puiſſe regarder ſon état d'équilibre, comme

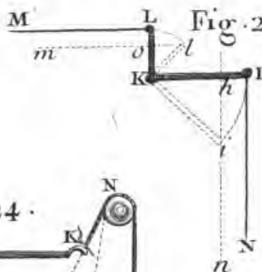


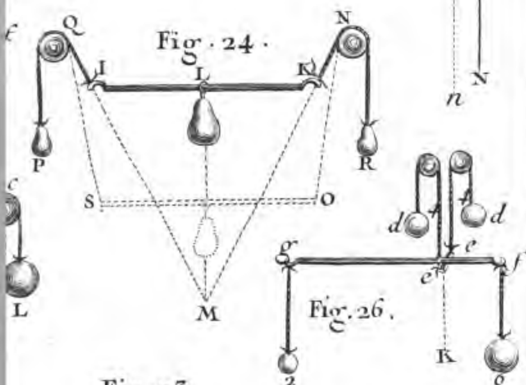
IX LEÇON.

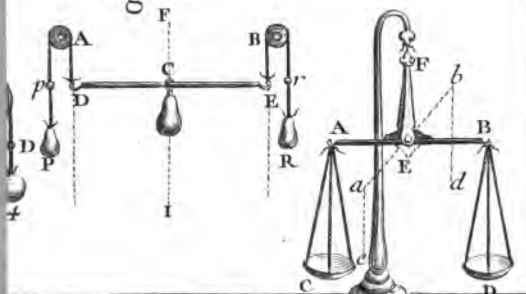
le ſigne certain d'une égalité parfaite dans les maſſes de part & d'autre : 2°. Que ſes bras ſoient toujours bien égaux ; car s'ils ne le ſont pas, ils meſureront des diſtances inégales du point d'appui aux points de ſuſpenſion où ſe font les efforts des puiſſances, & deux maſſes égales ne pourront point s'y mettre en équilibre : 3°. Que les bras ſoient dans une même direction ; car autrement il ſera difficile de juger s'ils font des angles égaux de part & d'autre avec les directions des puiſſances. Il n'eſt point facile de concilier enſemble ces trois points de perfection ; il ſe rencontre, dans la conſtruction de l'inſtrument, pluſieurs difficultés à vaincre ; & dans l'uſage même, une balance exige des attentions ſans leſquelles la plus exacte ceſſe de l'être.

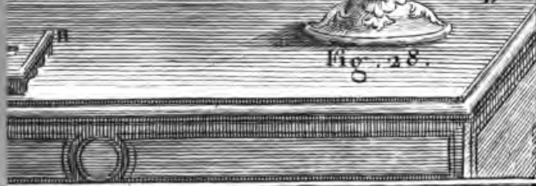
La mobilité d'une balance dépend principalement de trois choſes ; ſçavoir, du plus ou moins de frottement qui ſe fait à l'axe ; car on ſçait que c'eſt un obſtacle au mouvement ; de la poſition du centre de peſanteur qui peut être placé hors du centre de mouvement ; & de la longueur des


Fig. 21.
H
E
G
F


Fig. 22.
M
L
l
m
o
K
I
h
i
n
N


Fig. 24.
Q
N
I
L
K
P
R
S
O
M
L
Fig. 26.
d
d
g
e
f
2
K
6


Fig. 23.
F
A
B
C
p
r
D
E
D
P
R
I
F
b
A
B
E
a
d


C
D
B
Fig. 28.

bras, puisqu'un très-petit poids peut faire un grand effort, étant fort éloigné du point d'appui.

Pour rendre la balance plus mobile par la diminution du frottement, il faut que sa pression au point d'appui soit la moindre qu'il est possible : & c'est pourquoi l'on fait très-léger le fléau des balances d'essais, où l'on a besoin d'une très-grande mobilité : mais il faut prendre garde aussi qu'étant trop foible il ne plie sous la charge des bassins ; car sa courbure auroit d'autres inconvéniens dont nous ferons bien-tôt mention. C'est encore dans la vûe de diminuer le frottement de l'axe, qu'on le fait un peu en couteau : & cette pratique est bonne, pourvû cependant que l'endroit du trou sur lequel il porte, soit comme lui très-dur ; car autrement, ou il se creuseroit avec le tems, ou il s'écraseroit lui-même ; & sa mobilité, au lieu d'être augmentée, diminueroit considérablement.

Si le fléau de la balance est suspendu par le centre de sa pesanteur, ses deux bras seront toujours en équilibre, dans quelque situation qu'on

IX. LEÇON.

les mette ; & pour peu que l'un des deux soit plus chargé que l'autre, la balance trébuchera : cette extrême mobilité devient incommode dans l'usage ordinaire, parce qu'il faut beaucoup de tems & d'attention pour charger les bassins avec une égalité aussi parfaite qu'il le faudroit pour les tenir en équilibre ; c'est pourquoi l'on a coutume de placer le centre du mouvement au-dessus de celui de la pesanteur. On peut voir, par la *Fig.* 29. avec quelle réserve il faut user de ce correctif, qui n'est, à proprement parler, qu'une imperfection mise à dessein ; car si le triangle *ABC* représente un fléau de balance mobile sur le point *C*, & qu'on lui fasse prendre une situation inclinée comme *a b*, le centre de pesanteur qui est dans la ligne *CD*, quand les deux bras sont dans un plan horizontal, se trouvera alors dans la ligne *C d*, & fera effort pour revenir dans la ligne verticale qu'il a quittée ; s'il est libre d'y revenir, l'accélération de sa chûte le fera passer outre, il viendra en *f* ; & c'est ce qui cause ces balancemens qu'on remarque à tous les fléaux, & qui

n'auroient pas lieu si le centre de pesanteur n'étoit plus bas que le centre de mouvement.

Puisque de tels fléaux ne peuvent s'incliner sans que le centre de pesanteur se déplace, & que ce déplacement ne peut se faire sans un effort particulier, il est évident que cette construction ôte à la balance une partie de sa mobilité, & qu'on ne doit éloigner le centre du mouvement que le moins qu'il est possible de celui de la pesanteur, sur-tout lorsque cet instrument doit servir à peser des marchandises précieuses dont les moindres quantités intéressent.

La longueur des bras contribue aussi à la mobilité de la balance, par la raison que nous avons dite: c'est un moyen qui pourroit par lui-même rendre sensible le poids des plus petites portions de matiere; mais un fléau de balance ne peut acquérir une plus grande longueur, qu'en devenant ou plus pesant ou plus flexible; l'un & l'autre sont à craindre: le premier, parce qu'il augmente le frottement par une plus grande pression à l'axe: le second, par des raisons que nous allons rapporter.

IX. LEÇON.

La seconde condition que nous avons exigée pour faire une balance exacte, c'est que ses deux bras soient parfaitement égaux; or ce n'est point assez qu'ils le soient quand on construit l'instrument, il faut de plus qu'ils ne cessent point de l'être dans l'usage. Si le fléau n'a pas toute la roideur nécessaire, il se courbe sous la charge des bassins; & cette courbure, quelque petite qu'elle soit, diminue la mobilité, & jette de l'incertitude sur les effets de la balance. Car premiérement, si la ligne droite *AB*, *Fig.* 30. devient courbe comme *aCb*, les courbures de part & d'autre se réduisent aux deux lignes droites *aC*, *Cb*, & forment, avec la ligne *a b*, un triangle auquel on peut appliquer ce qui a été dit de celui qui est représenté par la *Figure* 29. Secondement les directions des puissances *af*, *bg*, ne font plus des angles droits avec les bras courbés du fléau. A la vérité, ceci n'est point un inconvénient, si ces angles, quoique différens de ce qu'ils étoient, sont toujours semblables entr'eux; & c'est pour s'en assurer qu'on éléve une aiguille à angles

gles droits sur le milieu du fléau. Si la chasse est suspendue librement, elle prend d'elle-même une direction verticale qui fait connoître quand l'aiguille est perpendiculaire au plan de l'horizon; & alors on juge que les deux bras de la balance font des angles semblables, avec les directions des puissances dont ils sont chargés; mais cela suppose, comme l'on voit, ou que le fléau est demeuré droit, ou qu'il s'est courbé également de part & d'autre; car si la partie *C b* a plié davantage que celle de l'autre part, la ligne sera plus courte que *a C*, & son inclinaison ne sera pas la même. IX. Leçon.

Cette différence d'inclinaison qu'on doit appréhender, si le fléau est fléxible, & la difficulté d'en estimer le plus & le moins dans la pratique, sont des raisons sur lesquelles j'établis la troisiéme condition: si, par le choix de la matiere, par la façon de la travailler; par une figure ou par des dimensions bien ménagées, on construit une balance de maniere que ses bras soient inflexibles, sans préjudicier aux autres qualités nécessaires, ils seront toujours dans une même

IX. LEÇON.

direction, & leur équilibre dépendra uniquement de l'égalité des masses dont ils seront chargés : cela ne doit s'entendre cependant que du fléau seul, & lorsqu'il n'est pas chargé de ses bassins ; car les points de suspension changent de place quand le fléau s'incline, & par cette raison l'une des puissances s'approche, & l'autre s'éloigne du point d'appui, comme on le verra par la *Fig.* 31.

Soient *A B*, les deux trous où l'on attache les crochets ou anneaux qui suspendent les bassins : tant que le fléau est horizontal, les points de suspension sont en *a* & en *b*, à égales distances du centre du mouvement, mais s'il s'incline comme *D E*, les anneaux glissent, & l'un des deux se trouve en *d*, plus loin, & l'autre en *e*, plus près qu'il n'étoit du centre de mouvement. C'est par cette raison qu'un fléau seul fait beaucoup de balancemens, & qu'il en fait moins, quand il est chargé de ses bassins, sur-tout s'il s'incline considérablement, parce qu'alors il perd entiérement son équilibre.

On peut remarquer aussi que com-

me on fait ordinairement de grands trous pour donner plus de liberté aux anneaux, quoique leurs centres soient dans la même ligne que celui de l'axe, les deux bras du fléau, qui sont, à proprement parler, les deux lignes *ac*, *bc*, ne sont pas pour cela dans la même direction; & c'est une chose à laquelle on doit avoir égard dans la construction des balances, puisque cela seul peut être cause que le centre de pesanteur se trouve hors du centre de mouvement (*a*).

L'aiguille que l'on place sur le fléau pour connoître quand il est dans une direction horizontale, pese en partie sur l'un des deux bras, quand la balance s'incline, comme il paroît par la *Figure* 32; & par cette raison, toutes les fois qu'elle passe la ligne verticale d'un côté ou de l'autre, elle seroit cause d'erreur si l'on ne prévenoit cet inconvénient par un contre-

(*a*) Pour remédier à ces inconvéniens, les bons ouvriers pratiquent aujourd'hui, à chaque extrémité du fleau, une boucle divisée en deux par une traverse, dont le bord supérieur un peu concave est taillé en couteau, pour recevoir l'anneau ou l'*S* qui porte les cordons du bassin. Voyez la figure 31*.

IX. LEÇON.

poids *h i*, que l'on ménage dans la partie opposée sous le fléau ; mais ce contrepoids n'empêche qu'une partie du mal, s'il n'est d'une pesanteur parfaitement égale à celle de l'aiguille, ce qui n'est point facile, quand le fléau *m n*, l'aiguille *k l*, & le contrepoids *h i*, sont d'une même piéce, comme cela se fait ordinairement.

La balance la mieux faite pourroit manquer d'exactitude par la maniere dont elle seroit mise en usage : elle pourroit, par exemple, n'être plus assez mobile, & même devenir fausse, par inégalité de longueur dans ses bras, si l'on ne proportionnoit pas à la force du fléau les masses dont on charge les bassins ; car alors une grande pression à l'axe y causeroit trop de frottement, & les bras pourroient se courber, ce qui seroit équivalent aux défauts qui naîtroient d'une mauvaise construction. On courroit risque aussi de prendre pour équilibre ce qui ne le seroit pas, si la chasse mal suspendue, ou gênée, ne prenoit pas une direction verticale ; car alors le fléau pourroit n'être pas horizontal sans qu'on s'en apperçût ; & l'on a pu

voir, par tout ce qui a été dit ci-dessus, que cette position est celle où il y a le moins à craindre d'équivoque : elle n'en est pourtant pas absolument exempte ; on peut faire une balance fausse à qui l'on conservera cette propriété d'être en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale : un des deux bras peut être plus court, mais aussi pesant que l'autre : tant que les bassins seront vuides, l'équilibre subsistera ; mais s'ils sont chargés de quantités égales de matiere, celui qui sera suspendu au plus long bras l'emportera sur l'autre ; car des poids égaux ne peuvent point être en équilibre qu'à des distances égales du point d'appui. IX. LEÇON.

LA balance Romaine, ou peson qu'on a représenté par la *Fig.* 33. est encore un levier du premier genre, qui différe de la balance ordinaire en ce qu'il met en équilibre deux puissances fort inégales entr'elles : un seul poids *P*, que l'on met à différentes distances de l'axe ou point d'appui *C*, sert à peser des quantités beaucoup plus grandes les unes que les autres, que l'on attache au crochet *R* ; par-

IX. LEÇON.

ce que le bras de levier *CH* étant gradué, & la puissance *P* étant connue, on sçait combien la résistance a plus de masse, par la différence qu'il y a dans les distances comprises entre l'une & l'autre, & le point d'appui.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup à cet instrument, parce qu'on y peut appliquer presque tout ce qui a été dit ci-dessus touchant la balance ordinaire; on remarquera seulement que le peson est d'un usage commode, en ce que n'ayant besoin que d'un seul poids qui n'est pas considérable, il est très portatif en petit; & quand on l'emploie en grand sur des masses qui sont très-pesantes, & qu'on ne peut pas diviser, on est dispensé d'avoir un grand nombre de poids difficiles à rassembler, & le point fixe en est beaucoup moins chargé; mais il faut observer aussi que cet instrument ne peut pas servir à peser exactement de petites quantités, parce qu'il n'est point assez mobile, ce qui vient principalement de ce qu'un de ses bras est fort court.

DES POULIES.

La poulie, *Fig.* 34. est un corps rond & ordinairement plat, mobile sur son centre *C*, & dont la circonférence extérieure est creusée *en gorge* pour recevoir une corde ou une chaîne à laquelle on applique d'une part la puissance *E*, *F* ou *G*, & de l'autre la résistance *R*.

Il faut ou que la corde mene la poulie, ou que la poulie mene la corde, c'est pourquoi quand on a lieu de craindre que celle-ci ne glisse sur l'autre, on creuse la gorge en forme d'angle, ou bien on la garnit de pointes. *Fig.* 35.

Le corps de la poulie se meut pour l'ordinaire dans une chappe *CD*, qui soutient l'axe : on est dans l'usage de fixer les deux bouts de l'axe dans la chappe, & de faire tourner la poulie dessus, il vaudroit mieux fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout ensemble dans les trous de la chappe, parce que le mouvement se faisant sur moins de surface, il y auroit moins de frottemens ; & quand bien même les trous de la chappe s'ag-

IX. LEÇON.

grandiroient avec le tems, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, la poulie n'en tourneroit pas moins rondement, ce qui ne se peut faire, quand le centre de la poulie est trop ouvert.

Les expériences que nous allons rapporter feront connoître, 1°. qu'une poulie peut être employée comme un levier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances, dont les forces absolues sont égales, demeurent toujours en équilibre, quelques directions quelles prennent : 2°. Que les puissances qu'on y applique, agissent, d'autant plus fortement que leur distance à l'axe est plus grande : 3°. Que l'axe est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance, & que son effort se fait dans une direction parallele aux leurs, & qui tend à leur point de concours.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Figure* 36. représente une machine composée de deux piliers éle-

vés & fixés sur une tablette plus longue que large; l'un porte une poulie à jour, de métal, & l'autre un levier en équerre dont les bras sont égaux, & qui tourne très-librement sur son clou & dans le même plan que la poulie.

On fait passer d'abord sur la poulie un cordon aux bouts duquel on attache deux poids égaux *P*, *R*, qu'on laisse agir dans des directions paralléles & verticales comme *AP* & *BR*.

Ensuite on transporte le poids *R* au cordon qui tient au bras *D* du levier angulaire, & l'on place le cordon de la poulie, comme *PA*, *FE*.

Enfin le poids *R* étant remis à sa premiére place, & le levier angulaire étant tourné de maniére que *D* soit en *d*, & *E* en *e*, on attache le poids *P* au bout d'un cordon *dp*, & le cordon de la poulie qui le portoit, au bras *e* du levier tournant.

Effets.

Les deux poids *P*, *R*, sont toujours en équilibre, non-seulement quand ils sont tous deux dans des directions paralléles & verticales, mais encore

lorsque l'un des deux agit horizon-
IX. LEÇON. talement sur la poulie, soit que la corde embrasse les trois quarts de la poulie, soit qu'elle n'en embrasse qu'un quart.

EXPLICATIONS.

La poulie *AFB*, peut être regardée comme un assemblage de leviers du premier genre, dont les bras sont égaux, & qui ont un point d'appui commun au centre *C* où est l'axe. Lorsque le cordon est vertical de part & d'autre, s'il ne peut pas glisser sur la poulie, il doit avoir le même effet que s'il étoit de deux piéces, dont une fût attachée en *A*, & l'autre en *B*. Il y a donc équilibre entre les deux poids *P*, *R*, parce qu'ils agissent à des distances égales du point d'appui, & que chacun d'eux fait son effort dans une direction perpendiculaire au bras du levier *AC*, ou *BC*.

L'équilibre subsiste par les mêmes raisons dans les deux autres cas; les rayons *GC* & *FC* sont égaux aux deux premiers, *AC*, *BC*; & les directions *EF* & *e G* leur sont perpendiculaires comme *RB* l'est à *BC*: toute la dif-

férence qu'il y a, c'eſt que les deux puiſſances agiſſent d'abord par un levier droit *A B*, & qu'enſuite elles ſont comme appliquées à des leviers angulaires *ACG*, ou *ACF*; ce qui eſt la même choſe, quant aux effets, comme nous l'avons fait voir ci-deſſus. *

IX. LEÇON.

* Page 47.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Figure* 37. repréſente une poulie compoſée de pluſieurs plans circulaires qui laiſſent entr'eux des épaiſſeurs, & dont les circonférences ſont creuſées en gorge; les diamétres, & par conſéquent les rayons de ces cercles, ſont entr'eux comme les nombres 1, 2 & 3. Sur la plus petite des trois circonférences on a placé une corde à laquelle ſont ſuſpendus deux poids de 6 onces chacun; & l'on a fixé en *a* & en *b* deux autres cordes qui embraſſent les deux autres circonférences, & qui pendent perpendiculairement aux points 2 & 3.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Quand les deux poids sont en *H* & en *I*, il y a équilibre entre 6 onces d'une part & 6 onces de l'autre. Si l'on ôte celui qui est en *H*, un autre poids de 3 onces fait la même chose en *K*; & quand celui-ci est ôté, 2 onces placées en *L* soutiennent le poids de 6 onces en *I*.

EXPLICATION.

Le rayon *C* 1 étant égal à *Cd*, il y a équilibre entre deux poids égaux, parce que leurs efforts se font à égales distances du point d'appui. Mais *C* 2, étant double de *Cd*, l'équilibre doit naître entre deux masses qui sont en raison réciproque de ces deux longueurs; ainsi 3 onces en soutiennent 6; & par la même raison 2 onces suffisent à une distance qui égale trois fois *Cd*.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA poulie *GH*, *Fig.* 38. est suspendue par son axe dans deux petites

boucles de métal qui sont soutenues de part & d'autre par des cordons qui passent sur deux petites poulies, & qui se réunissent à deux poids égaux *B*, *D*, de sorte que la grande poulie a deux mouvemens; car elle tourne sur son axe à l'ordinaire, & son axe peut descendre avec elle d'une certaine quantité, lorsque la résistance des poids *B*, *D*, vient à céder.

Effets.

Ces deux poids cédent, & la poulie tombe d'environ deux pouces, lorsque deux autres poids *E F*, qui pesent ensemble & avec la poulie un peu plus que *B*, *D*, se trouvent dans des directions paralléles & verticales: & la poulie remonte en partie, lorsqu'ayant ôté le poids *F*, on retient avec la main le cordon dans la direction *AC*.

Explications.

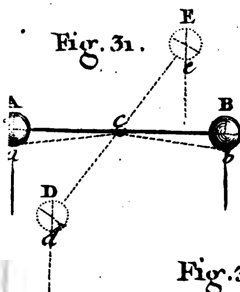
Quand les deux poids *E F*, sont suspendus parallélement, leurs efforts sont perpendiculaires à *G*, *H*, qu'on doit regarder comme les extrémités d'un levier droit; & nous avons fait

IX. LEÇON.

voir qu'en pareil cas le point d'appui porte la ſomme totale des deux maſſes ; l'axe qui le repréſente, ſouffre donc de haut en-bas un effort qui égale les deux poids *E*, *F*, & celui de la poulie pris enſemble ; les deux autres *B*, *D*, qui s'oppoſent à ſa chûte, & qui repréſentent ſa réſiſtance de bas en haut, ſont un peu plus foibles que cette ſomme ; c'eſt pourquoi la poulie deſcend. Mais elle ſe reléve, quand un des côtés de la corde ceſſe d'être paralléle à l'autre ; car alors l'effort qu'il ſoutient ſe fait ſelon la ligne *IK*, & ne porte plus qu'obliquement contre les puiſſances *B*, *D*.

APPLICATIONS.

LA poulie employée comme levier du premier genre, eſt un moyen ſimple & commode, & dont on ſe ſert fréquemment pour changer la direction du mouvement. Car de quelque maniére que ſe préſente une puiſſance dans le plan où eſt la poulie, elle ſe trouve toujours perpendiculaire à quelqu'un des rayons, ce qui lui conſerve toute ſon intenſité. Ainſi quoiqu'un cheval ou un boeuf



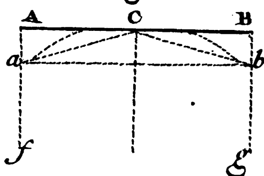


Fig. 35.

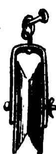


Fig. 34.

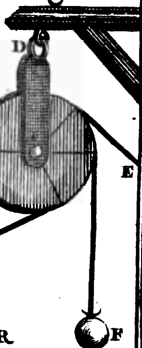
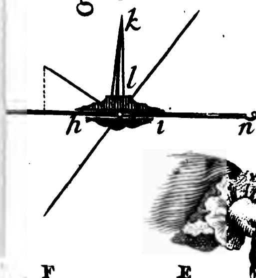
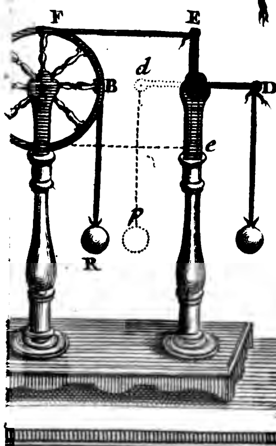
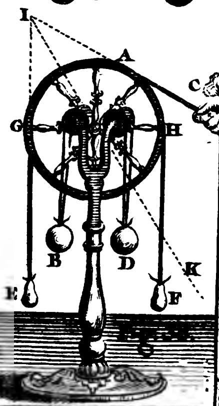


Fig. 32.







exerce naturellement sa force dans une ligne horizontale, on peut néanmoins par des renvois de poulies appliquer ses efforts à des résistances qui sont dirigées verticalement; quoiqu'un poids tende toujours à tomber, il peut être élevé, si par le moyen d'une poulie on le met en opposition avec un plus fort. IX. LEÇON.

Les leviers coudés ou angulaires, comme nous l'avons déja fait remarquer, changent bien aussi les directions; mais la poulie a cet avantage sur eux qu'elle rend le mouvement continu, & qu'elle conserve les puissances toujours dans les mêmes directions qu'on leur a fait prendre d'abord. Cette différence s'apperçoit aisément par la seule inspection des *Figures* 22. & 36.

COMME une poulie qui a plusieurs gorges concentriques, * peut servir à rendre égales des forces qui sont différentes entr'elles, lorsque les diamétres de ces gorges sont dans des rapports convenables; on peut conséquemment entretenir l'équilibre, ou bien un rapport constant entre deux puissances dont les forces relatives

* *Fig.* 37.

IX. LEÇON.

changent continuellement. Car au lieu de plusieurs gorges concentriques, on peut n'en faire qu'une qui ne rentre pas sur elle-même, mais qui prenant la d'une forme spirale, s'éloigne peu-à-peu du centre, suivant la proportion dont l'une des deux forces s'affoiblit.

Une des plus heureuses applications qu'on ait faites de cette conséquence, c'est d'avoir rendu uniforme l'action des ressorts qui animent les montres & les pendules. Nous avons dit dans la seconde Leçon *, que ces ressorts comme tous les autres, agissent toujours de plus en plus foiblement, à mesure qu'ils se détendent; le rouage qu'ils mettent en mouvement, leur opposant toujours la même résistance, il est évident que la montre ou la pendule iroit toujours en retardant, pendant tout le tems que le ressort mettroit à se développer, si l'on n'avoit pas trouvé un moyen de prévenir cet inconvénient. Au lieu d'envelopper sur un cylindre la chaîne qui sert à tendre le ressort, on la reçoit sur une fusée, dont la figure * est telle, que les tours vont toujours en diminuant de

* Tome I. p. 135. Fig. 10.

* Fig. 39.

de diamétre, comme la tenſion du reſſort augmente. Tout l'art conſiſte à trouver ce rapport; car la théorie ne peut ſervir qu'à en approcher, les Horlogers ſont toujours obligés d'en venir à des épreuves, parce que les reſſorts ne ſont jamais réguliérement flexibles & élaſtiques dans toutes les parties de leur étendue.

QUAND on ſçait de combien l'axe d'une poulie doit être chargé, on eſt en état de lui donner les dimenſions les plus convenables, ce qu'on doit avoir principalement en vue, c'eſt premiérement, qu'il ſoit aſſez fort; ſecondement, qu'il n'ait que la groſſeur néceſſaire, afin d'éviter les frottemens d'une trop grande ſurface. Mais comme la chappe d'une poulie eſt toujours attachée à quelque point fixe, il faut auſſi faire attention que ce qui la ſoutient ſoit aſſez ſtable pour réſiſter aux efforts qui ſe font ſur l'axe: il faut même avoir égard aux différentes directions que peuvent prendre ces efforts; car tel appui réſiſteroit dans un cas, qui céderoit dans l'autre.

ON peut auſſi conſidérer la poulie

IX. LEÇON.

ſimple comme un levier du ſecond genre; elle en a effectivement les propriétés, lorſque la réſiſtance *R*, *Fig.* 40. étant attachée à la chappe, un des bouts de la corde tient à un point fixe *a*, ou *g*, pendant que l'autre eſt tiré ou ſoutenu par la puiſſance *P*, ou *d*. Et alors ou les directions de la puiſſance & de la réſiſtance ſont paralléles entr'elles comme *c I*, *d E*, ou elles ſont inclinées l'une à l'autre comme *P k*, *c k*.

Dans le premier cas, la puiſſance ne porte que la moitié du poids de la réſiſtance; dans le ſecond, l'effort de la puiſſance diminue, & le point d'appui ſe dirige au point de concours des directions de la puiſſance & de la réſiſtance, c'eſt-à-dire, en *k*.

XIII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *Fig.* 41. ſont deux petites broches longues de trois pouces, qui gliſſent dans deux rainures à jour, pratiquées aux deux bras du ſupport G; la premiere ſert de point fixe à un cordon qui embraſſe une poulie char-

gée d'un poids *D*, & dont l'autre bout s'attache au bras d'une balance dont on a ôté un bassin, & que l'on a mise en équilibre avec elle-même, par le moyen d'un petit poids attaché en *H*; & cette balance est suspendue à l'autre broche *B*. IX. Leçon.

On met d'abord les deux petites broches à telle distance l'une de l'autre, que les deux bouts de la corde venant de la poulie soient parallèles entr'eux.

Ensuite en écartant les deux broches, on fait prendre aux deux bouts de la corde, des directions inclinées en sens contraires; & dans l'un & dans l'autre cas on charge le bassin de la balance, autant qu'il le faut pour tenir le fléau dans une situation horizontale.

Effets.

La poulie & son poids *D*, pesant ensemble 8 onces, il n'en faut que 4 dans le bassin de la balance pour faire équilibre, lorsque les deux bouts de la corde sont parallèles entr'eux, & dans une direction verticale; mais lorsqu'ils sont inclinés comme *P l*,

IX. LEÇON.

g m, de la *Fig*. 40. il faut charger davantage le baſſin de la balance pour le tenir en équilibre.

EXPLICATIONS.

En conſidérant le bras *H* de la balance comme la puiſſance qui ſoutient la poulie & ſa charge, après que l'autre bout de la corde eſt fixé en *A*, le poids que l'on met dans le baſſin exprime ſans équivoque l'effort qui ſe fait ſur la puiſſance, lorſque tout eſt en équilibre. Or, on voit par les réſultats la preuve de ce que nous avons avancé ci-deſſus, ſçavoir, 1°. que les directions des forces oppoſées étant paralléles, la puiſſance ne ſoutient que la moitié de l'effort de la réſiſtance; car dans le premier cas où les deux bouts de la corde ſont paralléles entr'eux, *c i* *, direction de la réſiſtance, eſt auſſi paralléle à *d e* qui eſt celle de la puiſſance, & 4 onces dans le baſſin de la balance, en ſoutiennent 8 en *D*. 2°. Que les directions des forces oppoſées n'étant plus paralléles, la puiſſance n'eſt plus égale à la moitié de

* *Fig*. 40.

l'effort de la résistance, & que la direction du point d'appui passe au point de concours des deux autres directions; car dans le second cas de l'expérience, où la puissance agit obliquement comme *P k*, 4 onces dans le bassin de la balance ne suffisent plus pour faire équilibre, & l'angle *g k c*, est égal à celui de l'autre part *P k c*.

IX. LEÇON.

Quand les deux bouts de la corde sont paralléles, comme *ab*, *de*, on peut les considérer comme étant attachés aux deux extrémités du diamétre *b e*; lorsqu'ils sont obliques, comme *P l*, *g m*, on peut les concevoir comme tenant aux points de tangence, *l*, *m*: mais les deux lignes *eb*, *m l*, sont deux leviers du second genre partagés l'un & l'autre en deux bras égaux par la direction *c i* de la résistance; le cordon suspendu en *a*, ou en *g*, transportant le point fixe en *b* ou en *m*, on voit tout d'un coup, que la puissance appliquée en *e* ou en *l*, agit toujours à une distance *e b*, ou *l m*, du point d'appui, double de celle de la résistance placée en *c* ou en *i*. Or suivant ce qui a été enseigné touchant le levier, 4 onces à une

distance double du point d'appui, font capables d'en soutenir 8.

IX. LEÇON.

Mais quand la puissance se dirige obliquement, elle ne suffit plus aux mêmes effets qu'auparavant ; parce que la direction perpendiculaire au bras du levier, est, comme nous l'avons fait voir, la plus avantageuse de toutes, & que par conséquent toutes les autres le sont moins. Il est vrai que *Pl*, est perpendiculaire au rayon *lc*; mais ce rayon par qui l'on peut concevoir que la puissance agit, est oblique à *ci*, direction de la résistance, ce qui revient au même.

Enfin le point d'appui dirige son effort par *gm*, quand la puissance s'incline comme *Pl*; parce que dans l'instant de cette inclinaison la poulie n'étant point soutenue du côté de la puissance, elle roule jusqu'à ce qu'elle le soit également de part & d'autre, ce qui n'arrive que quand l'angle *gkc* est égal à celui de l'autre part *Pkc*.

APPLICATIONS.

PUISQUE quand on a fixé la corde de la poulie en *A*, *Fig*. 41. il ne faut

plus en *H*, qu'une force de 4 onces pour en soutenir une autre de 8 en *D*; & qu'une force de 4 onces est toujours la même, soit qu'elle agisse de haut en bas, soit que son effort se fasse de bas en haut par le moyen d'une balance; on peut donc substituer au fléau *H K*, une autre poulie *L* ou *l*, *Fig.* 42. qui fera comme lui l'office d'un levier du premier genre, & il n'y aura jamais en *M* ou en *m*, qu'un effort de 4 onces à soutenir.

Si, pour résister à cet effort de 4 onces, on prolonge la corde de *M* en *N*, *Fig.* 43. & qu'on la fasse passer sous une troisiéme poulie *N O*; celle-ci semblable à la premiere, deviendra un levier du second genre, où la puissance *O*, une fois plus loin du point d'appui *N*, que la résistance qui charge l'axe, n'aura besoin que d'une force absolue qui soit moitié de la sienne; il ne faudra donc plus qu'un effort de 2 onces de bas en haut, & s'il est plus commode de tirer de haut en bas, une quatriéme poulie donnera, comme la deuxiéme, cette direction.

IX. LEÇON.

La ſeconde & la quatriéme poulies qui ſervent de renvoi pour changer la direction, peuvent être placées dans une même chappe ; & ſi cette chappe eſt fixée par en haut, ſa partie inférieure pourra elle-même ſervir de point fixe au premier bout de la corde que nous avons ſuppoſé être attachée en *F*.

Cette maniére de placer ainſi dans une même chappe pluſieurs poulies ou parallélement entr'elles, ou les unes au-deſſus des autres, eſt connue depuis long-tems ſous le nom de *mouſles*, ou poulies *mouſlées*. Ces machines ſont fort en uſage pour élever de grands fardeaux ; & elles ſont commodes en ce qu'elles occupent peu de place, & que l'on peut, ſans embarras, augmenter à ſon gré l'action d'une même puiſſance ; mais cela ne ſe fait, comme dans toutes les autres machines, qu'aux dépens d'une plus grande vîteſſe dans la puiſſance : car ſi la poulie qui eſt chargée de la réſiſtance, *Fig.* 40. s'eleve juſqu'à la ligne *d a*, il eſt évident que la puiſſance qui produit cet effet, parcourt deux fois autant de chemin dans le

même

même tems, puiſque les deux parties *a b*, *d e*, de la corde par laquelle elle agit, doivent ſe trouver au-deſſus de la ligne *d a*, quand le centre de la poulie y ſera parvenu; or ces deux longueurs *a b*, *de*, égalent deux fois la hauteur *c h*.

L'avantage que les poulies mouflées donnent à la puiſſance, ne peut pas être augmenté à l'infini; quand une fois les moufles contiennent une certaine quantité de poulies, les frottemens inévitables cauſent enſuite un déchet dans le produit des forces motrices, qui ſurpaſſe ce qu'on pourroit gagner en augmentant encore le nombre des poulies.

On doit auſſi diſpoſer les moufles de façon que les directions des cordes ſe trouvent paralléles le plus qu'il eſt poſſible; car nous avons fait voir que les puiſſances qui agiſſent obliquement, en ont moins de forces, toutes choſes égales d'ailleurs.

DES ROUES.

UNE *roue* eſt, comme la poulie, un corps rond, ordinairement plat, & mobile ſur ſon centre; la circonféren-

IX. LEÇON.

ce, au lieu d'être creusée en gorge, reçoit le mouvement qu'on lui communique, ou transmet celui qu'elle a reçu, par son frottement, ou par certaines parties saillantes qu'on y réserve ou qu'on y ajoute, & que l'on nomme *dents*, *chevilles* ou *vannes*, suivant la forme & la grandeur qu'elles ont.

Les roues se meuvent de deux façons, ou elles tournent toujours dans le même lieu, avec un axe qui est attaché à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui, comme on voit dans les horloges, tournebroches, moulins, &c. ou bien, roulant sur leur circonférence, elles portent leur centre, & l'axe qui le traverse, dans une direction parallèle au plan ou au terrein qu'elles parcourent: telles sont celles que l'on met aux carrosses & aux autres voitures.

Les roues qui n'ont qu'une sorte de mouvement, dont les axes ne font que tourner, doivent être considérées comme des leviers du premier genre, qui servent de même que la poulie, à changer la direction du mouvement, à le transmettre au loin,

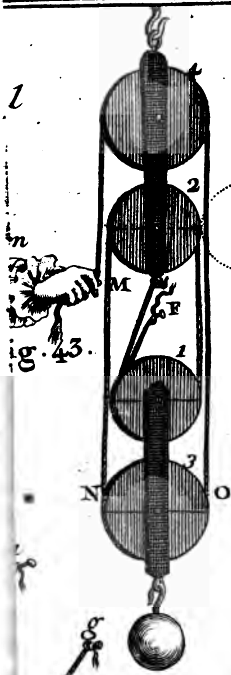


Fig. 44.



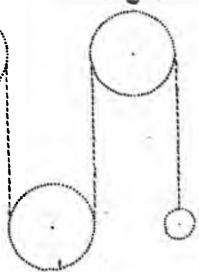


Fig. 39.



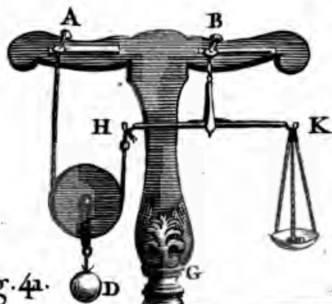


Fig. 41.

à rendre égales entre elles des puissances fort différentes l'une de l'autre, à augmenter la vîtesse dans l'une des deux.

IX. LEÇON.

1°. Les deux dents *A*, *B*, *Fig.* 44. peuvent être prises pour les extrémités d'un levier partagé en deux bras égaux par le point fixe ou centre de mouvement *C*; & si l'on place sur le même axe une autre roue une fois plus petite, celle des deux puissances qui agit par la dent *a*, étant une fois plus près du centre que l'autre, devient par cette raison une fois plus foible. On peut donc par ce moyen rendre égale la force d'une livre à celle de deux.

2°. On auroit encore le même effet, si la petite roue, au lieu d'être immédiatement appliquée sur la grande, étoit à l'autre bout de l'axe; de cette maniere le mouvement de la grande roue *H*, *Fig.* 45. se peut transmettre à une grande distance par la petite roue ou pignon *D*, qui tient au même arbre.

3°. Si ce dernier pignon engréne une autre roue *E*, qui ait des dents paralléles à son axe, le mouvement

IX. LEÇON. qui lui ſera tranſmis changera de direction, & deviendra horizontal de vertical qu'il étoit.

4°. Enfin ſi la roue *E* a quatre fois plus de diamétre que le pignon *D*, comme celui-ci ne peut ſe mouvoir ſans la roue verticale *H*, il faut que l'une & l'autre faſſent quatre tours, pour faire tourner une fois la roue horizontale *E*: & réciproquement ſi l'on tourne une fois celle-ci, on fera tourner quatre fois le pignon, l'arbre & la roue verticale. Si l'on ſuppoſe donc à chacune des deux grandes roues une manivelle *F*, ou *G*, menée par un homme, qui lui faſſe faire un tour dans une ſeconde; le mouvement aura quatre fois plus de vîteſſe, lorſqu'il fera tourner la manivelle *F*, que quand on appliquera la même puiſſance en *G*.

Quant aux roues qui ont deux ſortes de mouvemens, comme celles des voitures, dont le centre ſe porte en avant tandis que les autres parties tournent autour de lui; on doit les regarder comme un levier du ſecond ou du troiſiéme genre, qui ſe répéte autant de fois qu'on peut imaginer

de points à la circonférence. Car chacun de ces points est l'extrémité d'un rayon appuyé d'une part sur le terrein, & dont l'autre bout chargé de l'essieu, qui porte la voiture, est en même-tems tiré par la puissance qui la mene; de sorte que si le plan étoit inflexible, parfaitement uni & de niveau, si la circonférence des roues étoit bien ronde & sans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe aux moyeux, & si la direction de la puissance étoit toujours appliquée parallélement au plan, une petite force meneroit une charrette très-pesante. Car la résistance qui vient de son poids, repose entiérement sur le terrein par le rayon *CM*, *Fig.* 46. ou par un semblable qui lui succéde l'instant d'aprés.

Mais de toutes les conditions que nous venons de supposer, & dont le concours seroit nécessaire pour produire un tel effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'usage ordinaire.

Les roues des charrettes sont grossiérement arrondies & garnies de gros clous; les chemins sont inégaux par eux-mêmes, ou ils le de-

IX. LEÇON.

viennent par le poids de la voiture qui les enfonce; ces inégalités, soit des roues, soit du terrein, font appuyer la roue par un rayon C Q ou *CN*, oblique à la direction de la puissance *P C*, ou à celle de la résistance *C M*; le poids qui réside en *C* pése donc en partie contre la puissance, qui ne peut le faire avancer, qu'en le faisant monter autant que le point *Q* ou *N* est au-dessus de *M*.

D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient sur des surfaces parfaitement unies & droites; il se fait indispensablement de l'essieu aux moyeux, un frottement qui est de nature à être toujours considérable, comme nous l'avons remarqué dans la troisiéme Leçon *.

* *Tome I. p.* 233.

Les creux & les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval placé plus haut ou plus bas, par la disposition du terrein, au lieu de faire son effort par la ligne *CP*, *Fig.* 46. paralléle à la portion du plan qui porte actuellement les roues, le fait assez souvent par *CS*, ou *CR*, c'est-à-dire, obliquement à la direc-

tion *CM* de la résistance, & par conséquent avec désavantage. IX. Leçon.

Mais s'il n'est pas possible de se mettre absolument au-dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues; car il est certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes, dans les inégalités du terrein, comme on le peut voir par la *Fig.* 47. & parce que la circonférence d'une grande roue mesure en roulant plus de chemin que celle d'une petite; elle tourne moins vîte, ou elle fait un plus petit nombre de tours pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottemens.

Nous entendons par grandes roues celles qui ont cinq ou six pieds de diamétre; dans cette grandeur, elles ont encore l'avantage d'avoir leur centre à peu-près à la hauteur du trait d'un cheval, ce qui met son effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui pose verticalement sur le terrein; c'est-à-dire, dans la direction la plus favorable, au moins dans les cas les plus ordinaires.

IX. Leçon.

Du TREUIL, *ou* TOUR : *&* *du* VINDAS *ou* CABESTAN.

L'INSPECTION seule des *Figures* 48. & 49. suffit pour faire connoître que ces deux machines, à proprement parler, sont la même à qui l'on donne différens noms, selon les différentes positions dans lesquelles on l'employe. Qnand le rouleau ou cylindre *AB*, qui reçoit la corde, & qui est la partie principale, se trouve placé horizontalement, la machine se nomme *Tour* ou *Treuil* ; elle s'appelle *Vindas* ou *Cabestan*, quand ce même rouleau est vertical.

Ces deux machines sont employées fréquemment aux puits, aux carriéres, dans les bâtimens, pour élever les pierres & autres matériaux, sur les vaisseaux & dans les ports, pour lever les ancres, &c. Et quand on y fait attention, on les retrouve en petit, dans une infinité d'autres endroits où elles ne sont différentes que par la façon, ou par la matiére dont elles sont faites. Les *tambours*, les *fusées*, les *bobines* sur lesquelles on

enveloppe les cordes ou les chaînes, pour remonter les poids ou les resſorts des horloges, des pendules, des montres mêmes, &c. doivent être regardés comme autant de petits treuils & de petits cabeſtans.

Ce que nous avons dit des poulies & des roues, comprend ce qu'il y a de plus important à ſçavoir touchant le treuil : car ſi l'on conçoit l'arbre tournant comme une ſuite de poulies enfilées ſur le même axe, ſi l'on conſidére les leviers en croix, qui ſervent à le mettre en mouvement, comme des rayons prolongés, de la premiere de ces poulies ; enfin, ſi l'on fait attention que quand l'axe tourne, tout ce qui fait corps avec lui participe à ſon mouvement ; on verra tout d'un coup que cette machine fait l'office d'un levier ſans fin, du premier ou du ſecond genre, qui a deux bras inégaux à compter du point fixe *h*, ſçavoir, le demi-diamétre du cylindre *g h*, *Fig.* 50. par lequel agit la réſiſtance, & un autre rayon *h K* du même cylindre prolongé par un des leviers qui forment la croix, & par lequel la puiſſance fait ſon effort.

IX. LEÇON.

La puissance *P* ou *p* est donc à la résistance *G*, comme la longueur *P h*, ou *p h*, est à *g h*, ou *K h*; c'est-à-dire, que si chacun des leviers croisés, à compter depuis le centre du cylindre, est quatre fois plus long que le demi-diamétre *g h*, un poids de 400 livres, attaché à la corde G *g*, peut être soutenu par un effort équivalent à 100 livres, qui résisteroit en *P*.

Mais si l'on n'avoit qu'un effort de 100 à employer de cette maniére contre 400; lorsque le levier *P* viendroit à tourner, la puissance prendroit une direction désavantageuse & ne suffiroit plus, comme on l'a expliqué en parlant des manivelles; & d'ailleurs, si ces leviers croisés étoient fort longs, un homme ne pourroit pas facilement quitter l'un pour reprendre l'autre; c'est pourquoi aux carriéres, aux miniéres, & dans les grues où le treuil est employé en grand, les leviers croisés aboutissent à une circonférence, & forment une grande roue que l'on garnit de chevilles, comme *T*, *T*. *Fig.* 51. Par ce moyen la force des hommes, toujours appliquée à une même distance du

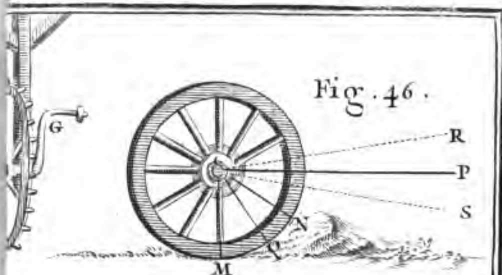


Fig. 46.

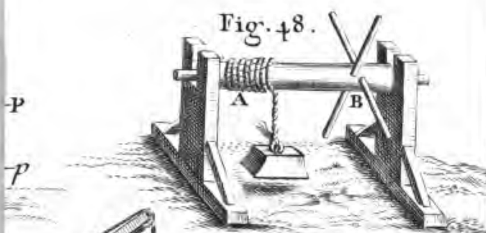


Fig. 48.



Fig. 51.

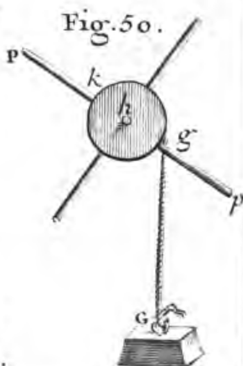


Fig. 50.

centre de mouvement, & perpendiculairement au levier, agit uniformément, & plusieurs peuvent travailler en même tems par un même rayon sans s'incommoder réciproquement.

Si la corde, après avoir enveloppé le rouleau dans toute sa longueur, retournoit sur elle-même pour l'envelopper une seconde ou une troisiéme fois, comme il arrive quand on se sert du treuil pour élever des fardeaux à une grande hauteur; il faut avoir égard à l'augmentation du diamétre du rouleau; car puisque son rayon est le levier de la résistance, quand le diamétre de la corde est ajouté une ou deux fois à la longueur de ce rayon, l'effort du fardeau se trouve plus loin de l'axe ou point d'appui, ce qui l'augmente d'autant: mais aussi, par une sorte de compensation, la partie de la corde qui est enveloppée sur l'arbre, cesse de peser contre la puissance.



IX. LEÇON.

II. SECTION.

Du plan incliné.

EN traitant de la pesanteur dans la sixiéme leçon *, nous avons donné la définition du plan incliné, & nous avons fait connoître comment & dans quels rapports il retarde la chûte des corps graves. Nous supposerons donc comme une vérité prouvée, qu'une masse qui roule ou qui glisse de haut en bas le long d'un plan incliné, est en partie soutenue par ce plan, & qu'elle l'est d'autant plus, que l'inclinaison est plus grande.

* Tome II. pag. 177 & suiv.

Il suit de ce principe, qu'une puissance appliquée à soutenir un corps sur un plan incliné, n'a pas besoin d'être égale au poids de ce corps : & comme un poids n'est autre chose qu'une force dont la direction est déterminée, on peut dire plus généralement, qu'une puissance quelconque, qui est obligée de suivre un plan incliné à sa direction, peut être égalée ou vaincue par une autre puissance plus foible.

Mais puisqu'un plan fait obstacle à la chûte d'un corps, parce qu'il est oblique à la direction de la pesanteur, on doit présumer qu'il affoiblira de même toute autre puissance dont la direction sera oblique à la sienne; & en effet l'expérience prouve, 1° : Qu'une petite force en soutient une plus grande sur un plan incliné; 2° : Qu'une petite force employée contre une plus grande, n'agit jamais avec autant d'avantage, que quand sa direction est paralléle au plan incliné, par lequel elle fait son effort.

I. EXPERIENCE.

Prepapation.

La machine qui est représentée par la *Fig.* premiere, est composée d'une tablette *A C*, longue d'environ 15 pouces & large de trois ou quatre; elle est jointe par une charniére en *C* à une autre tablette au bout de laquelle est fixé un quart-de-cercle qui sert à régler & à fixer son inclinaison : *D* est un cylindre de bois dur qui pése 5 ou 6 onces, & qui tourne très-librement sur son axe, dans une espé-

IX. LEÇON.

ce de chappe de métal, soutenue par deux cordons qui passent sur deux poulies de renvoi *e*, *e*, & au bout desquels sont attachés deux poids *d*, *d*, de deux onces chacun. Les deux petites poulies sont portées par une piéce de métal, que l'on peut placer à différens endroits sur le quart-de-cercle.

On incline le plan *AC* à peu-près de 45 degrés; on place le cylindre ou rouleau *D* en sa partie inférieure, & l'on met les poulies de renvoi de façon que les cordons qui tirent le rouleau soient paralléles au plan incliné, & on laisse agir les deux poids *d*, *d*.

Ensuite on répéte la même chose, excepté seulement qu'on place les poulies de renvoi en *E* ou en *F*, afin que leurs directions se trouvent au-dessus & au-dessous du plan incliné, & faisant un angle avec lui, comme *ADF*, ou *ADE*.

EFFETS.

Les cordons étant dans une direction paralléle au plan incliné, les deux poids qui pésent ensemble 4 onces, commencent à enlever le rouleau qui en pése environ 6. Mais

lorsqu'on a placé les poulies en *F* & en *E*, ces mêmes poids ne suffisent plus pour faire monter, ni même pour arrêter le rouleau. Le même effet arrive, si, au lieu de changer les poulies de place, on incline plus ou moins le plan *A C*.

EXPLICATIONS.

Le rouleau de notre expérience est un corps grave qui est naturellement déterminé à se mouvoir de haut-en-bas, & perpendiculairement au plan de l'horizon : deux causes concourent à l'arrêter ; la premiere est la résistance du plan incliné sur lequel il pose ; la seconde est l'effort des deux poids *d*, *d*. Si cette derniere cause agissoit seule, il faudroit que la somme des deux poids fût égale à la masse du rouleau : on a vû par le résultat de l'expérience, que 4 onces en soutiennent 5 ou 6, par le moyen du plan incliné ; il est donc indubitable qu'en pareil cas une petite force en peut soutenir une plus grande.

Pour rendre raison de cet effet, supposons que la ligne *a c*, *Fig.* 2.

IX. LEÇON.

soit le plan incliné, que le cercle *d f g* est la base du cylindre ou rouleau, que tout le poids de ce corps réside au centre *k*, & qu'il est en équilibre avec une puissance dont la direction est *k p*, pendant que son poids le sollicite à tomber par la ligne *k h*, perpendiculaire à l'horizon *b c*. Voilà donc deux forces appliquées à l'extrémité *k*, d'un même rayon ou levier, dont l'autre bout *d* est appuyé sur le plan; mais l'une des deux fait avec ce levier un angle droit *p k d*, elle agit dans la direction la plus avantageuse qu'elle puisse avoir; l'autre au contraire agit par une ligne inclinée à ce même levier, & fait avec lui un angle aigu *d k h*, ce qui le réduit à la longueur *d e*, selon ce que nous avons enseigné dans la section précédente; ainsi comme *d e* est plus court que *d k*, on peut dire que le poids du rouleau le céde d'autant à la puissance *p*: & pour ramener ceci à une regle générale, on doit faire attention que le triangle *d k e* est semblable à celui qui représente le plan incliné *a b c*, & que les deux lignes *d e*, *d k*, par conséquent ont le même

me rapport entr'elles que *a b* & *a c*; d'où il suit cette proposition, que *le poids du mobile est à la puissance qui le soutient, comme la hauteur du plan incliné est à sa longueur:* c'est-à-dire, que si la ligne *a b*, hauteur du plan, est à la ligne *a c*, qui exprime sa longueur, dans le rapport de 2 à 3, avec un effort de 2 onces on peut soutenir un poids de 3 onces, placé sur un plan incliné.

Mais comme la puissance n'a cet avantage sur la résistance qu'en conséquence d'une direction plus favorable à son effort, elle doit en avoir moins lorsqu'elle cesse d'agir parallélement au plan; car dans toute autre position, elle est inclinée au rayon *d k*. Le plan incliné n'est favorable à la puissance, que parce qu'il soutient en partie le poids du mobile. Quand cette puissance agit au-dessus du plan comme *k i*, elle ne laisse pas porter au plan tout ce qu'il pourroit porter; & si elle s'en éloigne jusqu'à tirer directement le poids suivant la ligne *k l*, il est évident qu'alors le plan n'est plus chargé de rien, & que l'effort de la puissance doit être égal au

IX. LEÇON.

poids du mobile pour le soutenir. Lorsqu'elle agit au-dessous du plan, comme *k m*, une partie de sa force est employée en pure perte contre le plan; & l'on conçoit bien que si elle s'abaissoit jusqu'à prendre la direction *k n*, la résistance du plan devenant directe, l'empêcheroit d'avoir aucune action contre le poids du mobile.

APPLICATIONS.

L'EXPÉRIENCE que nous venons d'expliquer fait voir, non-seulement qu'on peut tirer avantage des plans inclinés pour vaincre des résistances, ou pour soutenir de grands poids avec des forces moins grandes qu'il n'en faudroit employer pour les arrêter, ou pour les élever dans une direction verticale; elle fait connoître aussi, qu'un mobile dont le centre de pesanteur n'est point soutenu, doit toujours tomber, quoiqu'il pose d'ailleurs. Car il ne suffit pas que le rouleau porte au point *d* sur le plan *; sans l'effort de la puissance *p* il rouleroit de haut en bas, parce que le centre de sa pesanteur qui agit dans la di-

* Fig. 2.

rection *k h* n'eſt point ſoutenu.

C'eſt ainſi qu'on peut rendre raiſon d'une infinité d'effets dont on eſt ſurpris, & qu'on a peine à expliquer, quand on ignore, ou qu'on ne fait point attention à ce principe. La *Fig.* 3. par exemple, repréſente un ſolide *A* compoſé de deux cônes qui ſont joints par leurs baſes; on poſe ce corps ſur deux régles *B C*, *D C*, qui font enſemble un angle aigu, & qui ſont plus élevées par l'autre bout *B*, *D*, de ſorte qu'il eſt comme ſur un plan incliné; lorſqu'on le laiſſe libre, il monte en roulant, & ſuit en apparence une route toute contraire à celle que tous les corps graves ont coutume de prendre.

Cet effet vient de ce que le centre de gravité du corps *A* n'eſt point ſoutenu; car lorſqu'il eſt placé en *C*, il y reſteroit en repos, s'il portoit ſur un rayon *a e*, perpendiculaire au plan horizontal *e f*; *Fig.* 4. mais comme les deux regles font un angle, elles touchent ce double cône par des points qui ſont plus reculés comme *g* : ainſi le centre de gravité qui eſt en *a* porte à faux, & le corps entier com-

IX. LEÇON.

mence à rouler de *C* vers *B*. A mesure qu'il s'avance dans cette direction, les deux régles étant de plus en plus écartées, le mobile descend d'une quantité égale au demi-diamétre *a e*, plus grande que la hauteur *f B*, à laquelle il semble s'être élevé ; & le point *a*, par rapport à l'horizon, descend réellement de la quantité *h B*.

Si les corps tombent toutes les fois que le centre de gravité n'est point soutenu, il est vrai de dire aussi qu'ils ne tombent jamais, tant que ce même centre est appuyé; c'est pour cela qu'on voit tant d'édifices, qui ont perdu leur a-plomb & qui ne laissent pas que de se soutenir, & certains ouvrages bâtis en saillie, qui ne manquent point pour cela de la solidité qu'il leur convient d'avoir.

On seroit peut-être tenté de croire que c'est pour le bon air qu'un danseur de corde gesticule presque toujours des bras ; mais la vraie raison, c'est que comme il marche sur une espéce de plan très-mobile, qui s'incline continuellement, & de différentes maniéres sous ses pas : lorsqu'il s'apperçoit que le centre de sa pesan-

teur n'est pas soutenu, il le rappelle dans la ligne de direction, en allongeant le bras du côté opposé, comme un levier dont le poids est d'autant plus puissant que ses parties sont plus loin du centre de leur mouvement : & lorsqu'il n'est point encore assez habile dans son art, il employe pour cet effet un contrepoids, qu'il avance à droite & à gauche, selon le besoin.

Les enfans qui commencent à marcher, & qui n'ont point encore acquis l'habitude de diriger leurs corps relativement aux différens plans sur lesquels ils passent, évitent, par les mouvemens de leurs bras, une partie des chûtes ausquelles les expose presque continuellement une démarche qui n'est pas encore bien assûrée.

Pourquoi les personnes qui ont un gros ventre se penchent-elles en arriére ? c'est que sans cette attitude, le centre de pesanteur trop peu soutenu, les mettroit en danger de tomber sur la face. Un crocheteur au contraire, qui porte un gros fardeau sur le dos, se courbe en avant, parce

IX. LEÇON. que sa charge & lui ont un ceutre de gravité commun, qui le plus souvent se trouve placé hors du porteur, & qui ne seroit point soutenu s'il marchoit droit. Il faut donc de nécessité qu'il se penche jusqu'à ce que ce centre se trouve dans une ligne verticale qui passe entre ses deux pieds.

Quand on veut se tenir debout sur une jambe, on est obligé de faire un mouvement de côté, pour mettre le corps perpendiculairement sur celui des deux pieds qui doit le soutenir; si l'on veut se baisser en portant la tête en avant, il faut nécessairement porter en arriére la partie opposée, pour entretenir l'équilibre entre l'une & l'autre; voilà pourquoi l'on ne peut ni se tenir sut un seul pied, ni rien ramasser devant soi en se baissant, lorsque l'on a immédiatement à côté & derriére soi un mur ou un arbre qui empêche les mouvemens qu'il faut faire, pour placer ou pour maintenir le centre de gravité dans la ligne de direction qui passe au point d'appui.

DES MACHINES

Qui sont composées de plans inclinés.

PARMI les machines qui agissent comme plans inclinés, les plus simples, & celles dont l'usage est le plus commun, sont les *Coins* & les *Vis* : je me bornerai à ces deux espéces ; & en examinant leurs principales propriétés, j'en indiquerai quelques autres qui peuvent s'y rapporter.

DU COIN.

ON donne communément le nom de Coin à un corps dur composé de trois plans qui terminent deux triangles comme *D A C*, *Fig.* 5. les deux plus longs de ces plans forment un angle à la ligne *A a*, qu'on appelle *la Pointe* ou *le Tranchant* : le plus petit *D c*, qui détermine leur écartement se nomme *la Base*, ou *la Tête*, & la hauteur se mesure par la ligne *A B* qu'on regarde aussi comme l'*axe* du coin.

On se sert ordinairement de cette machine pour fendre, soulever, ou presser quelque matiére ; & pour la

faire agir, on employe la pression d'un ressort ou d'un poids, & plus communément encore le choc d'un corps dur qu'on fait mouvoir avec une certaine vîtesse, comme un marteau, un maillet, &c.

Le plus souvent la résistance que l'on a à vaincre avec le coin, vient de la ténacité des parties qu'il faut désunir & écarter; cette adhérence qui varie à l'infini, selon la nature des corps, leur grandeur, leur figure, & quantité d'autres circonstances, ne peut s'estimer que très-difficilement; d'un autre côté, la percussion que l'on employe pour faire agir le coin, est une force qu'il est bien difficile de comparer sans erreur à celle d'une simple pression, parce que le produit de son effort ne dépend pas seulement de la quantité du mouvement dans le corps qui frappe, mais encore de la nature de celui qui est frappé, de la maniere dont il reçoit le coup, & de plusieurs autres causes qui influent souvent plus ou moins qu'on ne l'a pensé. J'écarterai donc toutes ces considérations comme étrangéres à mon objet présent; & pour

pour me renfermer précisément dans les propriétés du coin, je supposerai des puissances dont on connoît la force absolue, comme des poids ou des ressorts d'une force déterminée, afin de n'avoir plus à considérer que les rapports que prennent entr'elles la puissance & la résistance, par la seule interposition du coin.

IX. LEÇON.

En considérant les différentes maniéres dont le coin peut agir, j'en conçois principalement deux, ausquelles il me semble qu'on peut rapporter toutes les autres avec des modifications. Premiérement, j'imagine deux corps *A*, *B*, *Fig. 6.* appuyés sur un plan bien solide, sur lequel ils ne puissent que glisser ou rouler dans les directions *CD*, *CD*; je suppose aussi qu'une force déterminée, comme de 10 livres, par exemple, appliquée en *E*, s'oppose à ce mouvement: si je fais descendre entre les deux corps, le coin *FGH* de toute sa hauteur, il est certain qu'à la fin de cette action les deux mobiles *A*, *B*, seront écartés l'un de l'autre de toute la largeur de la base *FH*. On conçoit bien aussi qu'ils le seroient plus ou moins, si j'employois

IX. LEÇON.

un autre coin dont l'angle fût plus ou moins ouvert, comme *i m G*, ou *l n G*; mais pour transporter ainsi deux masses qui résistent, il faut de la force, & l'on est obligé d'en employer davantage quand on les transporte à une distance plus grande dans un temps déterminé.

Secondement, je me représente un coin qui fait effort pour écarter davantage les deux parties d'une buche entr'ouverte, *Fig.* 7. tandis qu'elles résistent à cet écartement, par la liaison des fibres qui sont encore unies au-dessous de l'angle *p*. Je conçois les deux lignes *s p*, *p q*, & de l'autre part *t p*, *t r*, comme deux leviers angulaires, dont les bras *p r*, *p q*, sont liés ensemble par des fils également distans l'un de l'autre; le coin agissant en *t* & en *s*, fait donc son effort par les deux bras *t p*, *s p*, contre le premier lien qui est à l'angle *p*, tandis que les deux autres bras s'appuyent mutuellement l'un contre l'autre au-dessous. Si ce lien est inflexible, & qu'il ne puisse céder sans se rompre, l'effort du coin produira cet effet s'il excéde un peu la force de ce fil; & s'il est une

fois rompu, celui qui le ſuit immédiatement, quoiqu'auſſi fort, ſe rompra plus facilement par la même action du coin, parce-qu'alors le levier de la puiſſance eſt augmenté en longueur, comme on le peut voir par les deux lignes ponctuées qui répondent au ſecond lien; & par la même raiſon, cet avantage que reçoit la puiſſance doit aller toujours en augmentant. N'eſt-ce pas pour cela que les bois durs & ſecs, les pierres, le verre, & en général toutes les matiéres dont les parties ſont fort roides, ſe caſſent par éclat, & ſe fendent fort aiſément dès qu'on a commencé à les entamer? Il n'en ſeroit pas tout-à-fait de même ſi ces liens que je ſuppoſe étoient fléxibles, parce que les premiers venant à céder un peu, laiſſeroient porter aux autres une partie de l'effort du coin, & la même force ne ſuffiroit pas pour les rompre tout-à-fait.

IX. LEÇON.

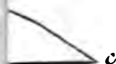
Que le coin agiſſe de l'une ou de l'autre façon, il paroît 1°: Qu'on peut s'en ſervir avantageuſement pour vaincre de grandes réſiſtances: 2°. Que ſon action devient d'autant

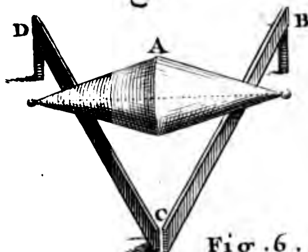
IX. LEÇON. plus puissante, qu'il est plus aigu. L'expérience, en confirmant ces deux propositions, nous donnera lieu de déterminer le rapport des puissances qui agissent l'une contre l'autre par le moyen de cette machine.

II. EXPERIENCE.

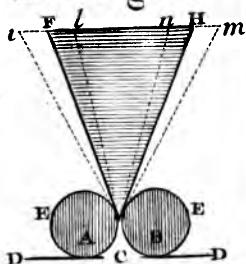
PREPARATION.

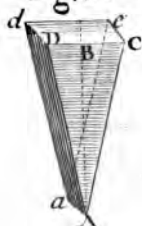
Les deux plans *A C*, *A C*, *Fig.* 8. forment les deux faces d'un coin, qui peut devenir plus ou moins aigu, par le moyen d'une charniere qui est au point *C*, & de deux écrous *E*, *F*, qui arrêtent les deux autres extrémités à la régle *G H;* pour cet effet cette derniere piece doit être percée d'une rainure à jour dans laquelle on fait glisser deux tourillons à vis que l'on a ajoutés aux bouts des deux plans. *D I* est un chassis placé horizontalement sur deux montans qui aboutissent à une tablette qui leur sert de pied. Deux rouleaux, *m*, *n*, tournent dans de petites chappes qui glissent avec beaucoup de facilité, sur deux fils de métal tendus d'un bout à l'autre du chassis. Deux cordons qui tiennent de

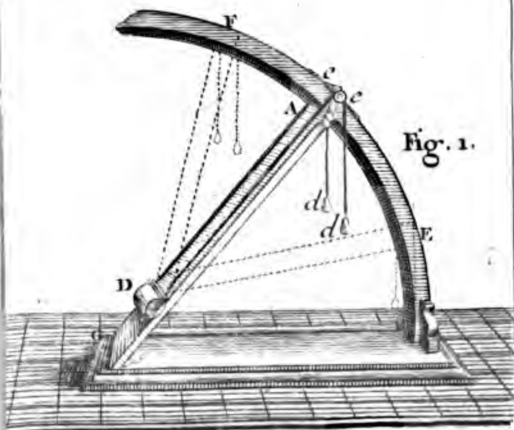

g. 2.
g


Fig. 3.
D
B
A
C


c
h
B
f


Fig. 6.
i
F
l
n
H
m
E
E
A
B
D
C
D


Fig. 5.
d
e
D
B
C
a


F
c
e
A
Fig. 1.
d
d
E
D

part & d'autre aux chappes des rouleaux, & qui paſſent ſur deux paires de poulies placées au milieu du chaſſis *D I*, ſont reçus en *C* par une bride de métal à laquelle on attache un poids. On voit, par cette diſpoſition, que les rouleaux ne peuvent être écartés l'un de l'autre que par une force capable d'élever le poids *p*, & que le coin *A B C*, agiſſant contre eux par ſon propre poids, ou par celui qu'on lui ajoute, il eſt facile de comparer l'effort de la puiſſance avec celui de la réſiſtance.

Le poids *p* étant de deux livres, on rend le coin tellement aigu, que ſon propre poids ſuffiſe pour écarter les rouleaux; enſuite on l'ouvre de maniere que ſa baſe *A B*, ſoit égale à la moitié de la hauteur *K C*.

Effets.

1°. Lorſque le coin eſt aſſez aigu, quoiqu'il ne péſe qu'environ 8 onces, ſon effort devient ſuffiſant pour écarter les rouleaux.

2°. Lorſque ſa hauteur égale deux fois la largeur de ſa baſe; il écarte encore les rouleaux, c'eſt-à-dire, qu'a-

IX. LEÇON.

vec un effort d'une demi-livre il fait équilibre à une force qui est quadruple.

EXPLICATIONS.

Si le poids *p* de notre expérience, étoit partagé en deux autres d'une livre chacun, comme *p*, *r*, *Fig.* 9. & que les deux rouleaux *m*, *n*, ne pussent s'écarter l'un de l'autre sans faire monter d'autant ces deux poids, il est certain que sans l'intermède de la machine, il faudroit une masse égale à deux livres pour leur faire équilibre, & un peu plus pour les faire monter: or nous voyons que par le moyen d'un coin, 8 onces les enlevent; nous voyons aussi qu'avec ces 8 onces on produit le même effet quand la base du coin égale seulement la moitié de sa hauteur : nos deux propositions sont donc prouvées ; il s'agit maintenant d'expliquer le fait.

La force d'un corps qui se meut, ou qui tend à se mouvoir, vient de sa masse & du degré de vîtesse qu'il a ou qu'il auroit si le mouvement avoit lieu. Or le coin *a b c* ne peut descendre de toute sa hauteur, que les rouleaux ne

parcourent en même temps les deux espaces $c\,l$, $c\,i$, & que par conséquent les deux poids p, r, ne fassent autant de chemin en montant ; mais chacun de ces espaces n'est que le quart de la hauteur du coin, de sorte qu'un poids placé en k fait dans le même tems quatre fois autant de chemin en descendant, que les poids p, r, en font en montant ; ainsi dans le cas de l'équilibre, le poids k doit être à la somme des deux autres en raison réciproque des vîtesses, c'est-à-dire, une demi-livre contre 2 livres lorsque la ligne $k\,c$ est quadruple de la ligne $a\,k$; d'où il suit cette proposition générale : *La puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la demi-base du coin est à sa hauteur ;* ce qui n'a lieu cependant à la rigueur, que quand les forces opposées peuvent être comparées à des poids, comme dans l'expérience précédente, & que le coin est bien aigu.

APPLICATIONS.

LES usages du coin ne sont pas bornés à fendre du bois ou des pierres, & sa forme n'est pas toujours celle d'un morceau de fer grossiérement aiguisé

IX. LEÇON.

qu'on chasse à coups de marteaux : on peut dire en général que tous les outils tranchans, de quelque nature qu'ils soient, la coignée & la serpe du bûcheron, le ciseau & la gouge du sculpteur & du menusier, la lancette & le scapel du chirurgien, le couteau & le rasoir qui sont entre les mains de tout le monde, sont autant de coins, dont l'angle, la grandeur, la figure, la dureté sont proportionnés à la qualité des matiéres sur lesquelles ils doivent agir, & à l'action du moteur qui doit régler leur effort. Cette observation se présente d'elle-même, lorsqu'on fait attention que tous ces instrumens ont essentiellement deux surfaces plus ou moins inclinées l'une à l'autre, & qui forment toujours à l'endroit de leur jonction, un angle plus ou moins aigu.

Comme c'est l'angle qui est la partie essentielle du coin, il n'est pas nécessaire qu'il soit formé par le concours de deux seuls plans ; les clous qui ont quatre faces qui aboutissent à une même pointe, les poinçons ronds, les épingles, les aiguilles, &c. dont la superficie peut être regardée com-

me un assemblage de lignes qui se réunissent à un angle commun, font aussi l'office de coins, & doivent être considérés comme tels.

Il faut remarquer que, parmi les différentes sortes de tranchans, il y en a beaucoup que l'on fait agir en les traînant selon leur longueur, en même temps qu'on les appuye directement contre le corps qu'on veut entamer; tels sont les couteaux, les bistouris, &c. Ces sortes d'instrumens agissent en même temps comme des coins & comme des scies; car il faut savoir que le tranchant le plus fin est composé de parties qui ne sont pas toutes exactement dans la même ligne; les unes plus hautes que les autres forment autant de petites dents qu'on peut appercevoir avec le microscope, & qui ne tiennent pas contre un long usage; c'est pourquoi l'on a soin de les réparer comme on les avoit fait naître, en frottant les faces de la lame sur une pierre à aiguiser; (ce que l'on nomme *donner le fil* :) tout instrument qui coupe de cette maniere n'a pas besoin qu'on l'appuye aussi fort qu'un autre; c'est pourquoi

IX. LEÇON.

dans les opérations de Chirurgie on préfére, autant que l'on peut, l'usage du bistouri à celui des ciseaux qui ne coupent qu'en serrant, pour éviter la contusion des parties, & pour épargner de la douleur au malade.

Mais quoiqu'un tranchant soit fait pour couper en traînant, comme les couteaux ordinaires, il ne faut point oublier qu'il peut aussi entamer & diviser un corps contre lequel il ne seroit que pressé directement. C'est une témérité que de frapper, comme on fait quelquefois, avec la paume de la main sur le tranchant d'un rasoir; la peau véritablement résiste un peu plus quand l'instrument n'agit sur elle que comme un coin, sur-tout s'il attaque à la fois une grande étendue; mais il est toujours dangereux d'essayer jusqu'où peut aller cette résistance.

Des Vis.

La *Vis* est un cylindre ou un cône fort allongé sur lequel on a creusé une gorge qui tourne en spirale; la cloison qui est réservée entre les tours de cette gorge, s'appelle le *Filet* de la vis; & la distance qu'il y a d'un filet à l'autre

se nomme le *Pas*: on pratique aussi ce filet & cette gorge dans une cavité cylindrique pour en faire une vis intérieure; & quand ces deux sortes de vis sont tellement proportionnées que le filet de l'une peut se mouvoir dans la gorge de l'autre, & réciproquement, celle qui est creuse prend le nom d'*Ecrou*.

En jettant seulement les yeux sur les *Fig.* 10 & 11 on reconnoît facilement que le filet d'une vis, à ne considérer que l'endroit qui reçoit l'effort de la résistance, n'est autre chose qu'un plan incliné à la base du cylindre qu'il enveloppe; & que ce plan est d'autant plus incliné que les pas sont moins grands; ainsi lorsqu'une vis tourne dans son écrou, ce sont deux plans inclinés dont l'un glisse sur l'autre. La hauteur est déterminée pour chaque tour par la distance d'un filet à l'autre, & la longueur est donnée par cette hauteur, & par la circonférence de la vis; car si l'on développe un de ces filets *a b*, avec son pas *b c*, on aura le triangle *a b c*, *Fig.* 10.

Quand on veut faire usage de cette machine, on attache ou l'on appli-

IX. LEÇON.

que l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la résistance qu'il faut vaincre, & l'autre lui sert comme de point d'appui ; alors en tournant, on fait mouvoir l'écrou sur la vis, ou la vis dans l'écrou, selon sa longueur ; & ce qui résiste à ce mouvement, avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires est poussée par l'action d'une vis contre l'autre, à laquelle est fixé un écrou : il faut, comme on voit, que la puissance fasse un tour entier pour faire avancer la résistance d'un pas, c'est-à-dire, d'un filet à l'autre : ainsi en la supposant appliquée immédiatement à la circonférence de la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse, est *a c*, & celui de la résistance est *b c*; mais comme on fait ordinairement tourner les vis, & sur-tout celles qui sont grosses, avec des leviers ou avec quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle menoit immédiatement la vis ; ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse, c'est la circonférence d'un cercle dont le levier *D E* est le demi-diamétre. On peut donc

établir en général que dans l'usage des vis, si l'on n'a point égard aux frottemens, *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la hauteur du pas* bc, *est à la circonférence que décrit l'extrémité* E *du levier par lequel on agit*, c'est-à-dire, *en raison réciproque des vîtesses*.

IX. Leçon.

Selon la matiere dont on fait les vis, & les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes aux filets; le plus souvent ils sont angulaires, comme dans la *Fig.* 10, ou quarrés comme dans la *Figure* 11. Ceux-ci se pratiquent ordinairement aux grosses vis de métal qui servent aux presses & aux étaux, parce qu'elles en ont moins de frottemens. On fait aux vis de bois des filets angulaires pour leur conserver de la force; car par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte: on donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, je veux dire, ces petites vis de fer qui finissent en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois; on doit les considérer, de même que les *mêches* des vrilles & des tarieres,

IX. LEÇON.

comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant mieux qu'il eſt plus aigu.

Parmi un grand nombre de machines dont la partie principale eſt une vis, il en eſt deux qui tiennent un rang diſtingué; l'une eſt cette fameuſe vis qui porte depuis près de deux mille ans le nom d'Archimédes ſon Auteur, & qui peut, dans bien des occaſions, s'appliquer fort utilement à élever les eaux; l'autre eſt la *vis ſans fin*, ainſi nommée, parce que ſon action eſt continue du même ſens, au contraire des vis ordinaires, qui ſe meuvent dans un écrou, & qui ceſſent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur.

La vis d'Archimédes eſt compoſée d'un cylindre incliné à l'horizon, qui tourne ſur deux pivots *A*, *B*, *Fig.* 12. & d'un canal ou tuyau qui l'enveloppe en forme d'hélice. Un corps grave placé à l'embouchure *C* du canal, tombe par ſon propre poids en *d*: lorſqu'on fait tourner la vis, le point *d* du tuyau paſſe au point *e*, & le mobile que ſon poids retient toujours à l'endroit le plus bas, ſe trouve dans

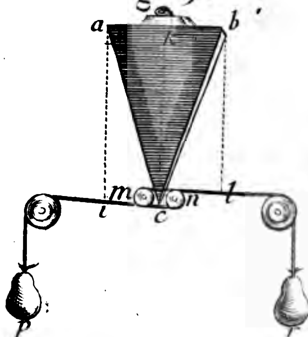
le canal au point *f* qui a fait un demi-tour, & qui est venu en *g*. En continuant ainsi, on lui fait parcourir toute la longueur de la vis de bas en haut; de sorte que par le moyen de cette ingénieuse machine, un corps monte en vertu de la même force qui le fait descendre. Si la partie inférieure de cette vis est plongée dans l'eau, on conçoit facilement que ce canal doit s'emplir à mesure qu'il tourne, & procurer un écoulement par la partie d'en haut.

Comme cette machine se meut sur deux pivots, une force peu considérable peut la faire tourner, pourvû qu'elle soit bien en équilibre avec elle-même; mais on ne peut gueres s'en servir que pour élever l'eau à une hauteur médiocre, comme lorsqu'il s'agit de dessécher un terrein; parce que cette vis étant nécessairement inclinée, ne peut porter l'eau à une grande élévation, sans devenir elle-même fort longue, & par-là très-pesante, & sans courir les risques de se courber & de perdre son équilibre.

Ce que l'on nomme ordinairement, *Vis sans fin*, est une machine compo-

sée d'une vis dont le cylindre ou
IX. Leçon. noyau tourne toujours du même sens sur des pivots qui terminent ses deux extrémités ; les filets de cette vis, qui sont le plus souvent quarrés, menent en tournant une roue verticale dont ils engrennent les dents. Cette roue porte à son centre un rouleau avec une corde à laquelle on attache le fardeau qu'on veut élever, de la même maniere qu'au treuil. *Voyez la Figure 13.*

Par le moyen de cette machine, on peut vaincre avec très-peu de force une très-grande résistance : mais cet avantage coûte bien du tems ; car il faut que la vis fasse un tour entier pour faire passer une dent de la roue, & il faut que toutes les dents passent, pour faire tourner une fois le rouleau ; de sorte que si le nombre des dents est 100, & que le diamétre du rouleau soit de 4 pouces, pour élever la résistance *P* à la hauteur d'un pied, il faut que la puissance *F* fasse tourner 100 fois la manivelle ; mais il y a bien des occasions où cette lenteur est le principal objet qu'on se propose, comme lorsqu'il s'agit de modérer le mouvement


Fig. 9.
a
b
m
n
l
i
c
p

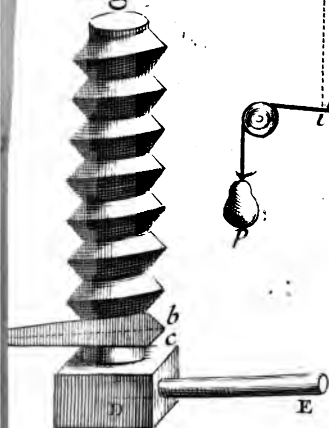
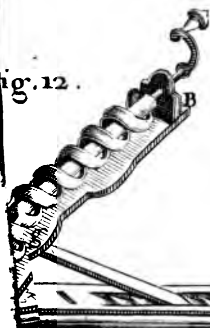

Fig. 10.
b
c
D
E


Fig. 13.
F
P


ig. 12.
B

mouvement d'un rouage, ou bien de faire avancer ou reçuler un corps d'une très-petite quantité qu'il importe de connoître. IX. LEÇON.

Dans cette section, comme dans la précédente, j'ai toujours fait abstraction des frottemens, pour n'avoir égard qu'aux effets qui naissent de chaque machine considérée en elle-même; il est bon d'avertir cependant que dans l'usage des vis & du coin, il arrive souvent que l'effet principal vient des frottemens, & que si dans la pratique on négligeoit d'avoir égard à cette espece de résistance, il y auroit bien peu de cas où les forces opposées pussent se comparer avec quelque justesse: deux exemples justifieront cette remarque. Lorsqu'avec un effort équivalent à 100 livres on a chassé un coin entre les deux parties d'une bûche entr'ouverte, la réaction ou le ressort du bois qui s'oppose à l'effort de la puissance, subsiste toujours quoiqu'on cesse d'agir contre; pourquoi donc le coin ne revient-il point de lui-même, quand il n'est point fort obtus? c'est qu'il oppose alors à la pression du bois qui le sol-

IX LEÇON.

licite à reculer, le frottement de sa surface qui égale ou qui surpasse même la force qui l'a fait entrer. Quand on a serré les deux mâchoires d'un étau avec la vis, au moment que l'on cesse de la faire tourner, la résistance est en équilibre avec la puissance: sans le frottement de la vis dans son écrou, la moindre force devroit écarter les mâchoires qui ont été serrées; cependant les plus grands efforts ne le font pas; & c'est en quoi consiste le principal avantage de cet outil.

III. SECTION.

Des Cordes.

LES cordes sont des corps longs & flexibles, quelquefois simples, mais le plus souvent composés de plusieurs fibres ou fils de matiere animale, végétale ou minérale. Les chaînes mêmes, par rapport à l'emploi qu'on en fait dans les machines, doivent être considérées comme des cordes; car quoique leur structure soit tout-à-fait différente, elles ont les qualités es-

sentielles des cordes, la longueur & la flexibilité qui les rendent propres aux mêmes usages.

En méchanique, on employe communément les cordes: 1°. pour changer la direction du mouvement, comme lorsqu'avec une poulie on fait monter un poids par l'effort d'un autre qui descend: 2°. pour transporter la puissance ou la résistance dans un lieu plus avantageux ou plus commode; c'est par le moyen d'une corde, par exemple, qu'un cheval placé sur le rivage tire un bateau qu'il ne pourroit presque jamais faire mouvoir autrement: 3°. pour lier, serrer, arrêter d'une maniere simple & facile toutes sortes de mobiles qui tendent d'eux-mêmes à se désunir, ou qu'une force extérieure sollicite à s'écarter ou à se déplacer.

Les cordes par elles-mêmes ne peuvent ni augmenter ni diminuer l'intensité des forces qui agissent contr'elles, ou contre lesquelles on les fait agir; que la corde avec laquelle on sonne une cloche ait 15 brasses, ou qu'elle n'en ait qu'une ou deux, le sonneur n'en a ni plus ni moins

IX. LEÇON. d'effort à faire; la force d'un cheval est la même lorsqu'il tire avec un gros ou avec un petit trait : mais parce qu'une corde est plus grosse ou plus longue, elle est plus pesante; elle se courbe, lorsqu'elle n'agit pas dans une direction verticale, & elle est moins flexible; or le poids, la courbure & la roideur des cordes sont des résistances ou des désavantages qui exigent un plus grand effort de la part de la puissance, & sur lesquels il est nécessaire de compter dans la pratique.

En parlant des puits où l'on tire l'eau par le moyen de deux seaux qui montent & descendent alternativement, nous avons déja observé que la corde, dans les temps où elle est plus longue d'un côté que de l'autre, augmente la charge, & que cette augmentation devient considérable, lorsque la profondeur du puits ou du souterrein est grande : on peut dire la même chose des fardeaux que l'on traîne; les cordes ou les chaînes dont on se sert augmentent de leur propre poids la charge sur laquelle on agit.

La résistance qui vient de la pesanteur des cordes croît comme leur so-

lidité ou quantité de matiere ; en les considérant comme des cylindres, on doit donc, à longueurs égales, estimer la différence de leur poids par le quarré du diamétre. Si, par exemple, à la place d'une corde qui pése 30 livres, ayant un pouce de diamétre, on en met une autre de même longueur & de même nature qui soit deux fois aussi grosse, celle-ci pésera 120 livres, c'est-à-dire, quatre fois autant que la premiere, parce que son diamétre est double.

Non-seulement le poids de la corde augmente la somme des résistances dans l'usage des machines ; mais il arrive encore assez souvent qu'en la faisant courber, il fait prendre à la puissance une direction moins avantageuse que celle qu'elle auroit si la corde se tenoit parfaitement droite. Lorsqu'on tire un fardeau sur un plan incliné, nous avons fait voir que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsqu'il est dirigé parallélement au plan, comme *A B*, *Fig.* 1. Mais il y a bien des occasions où la corde, devenant courbe comme *A E B*, à cause de sa longueur & de

IX. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

ON attache au plancher d'une chambre, ou à quelqu'autre appui solide, deux cordes semblables, *A*, *B*, *Fig.* 2. qui pendent parallélement à 5 ou 6 pouces de distance l'une de l'autre, & qui soutiennent une tablette *CD*, sur laquelle on pose des poids.

Ces deux cordes font dans le même sens chacune un tour sur un cylindre *EF*, & au milieu on enveloppe en sens contraire un ruban ou un fil au bout duquel on attache un bassin de balance que l'on charge jusqu'à ce qu'il commence à faire rouler le cylindre de haut en bas, comme on le peut voir par la *Fig.* 3. On employe dans ces expériences plusieurs paires de cordes, qui sont toutes de même matiere, & dont les diamétres sont différens, & faciles à comparer : le cylindre doit toujours être du même poids, quoiqu'on varie sa grosseur; & afin que le ruban ou fil qui pend en *f*, soit toujours à la même distance du point *e* *, on diminue le cylindre en

* *Fig.* 3.

en ſon milieu; ou bien en évaluant l'effort du poids qui eſt ſuſpendu au ruban ou fil, on tient compte de la diſtance du point *f* au point *e*, ſi elle eſt augmentée.

Dans cette premiere expérience, le diamétre des cordes eſt de trois lignes, celui du cylindre, d'un $\frac{1}{2}$ pouce, & l'on charge d'abord la tablette *CD* de 30 livres, & enſuite de 40 liv.

Effets.

1°. Lorſque les cordes ſont tendues par un poids de 20 livres, il faut que le poids *G* ſoit de 45 onces, pour commencer à faire deſcendre le cylindre: 2°. Lorſque l'on tend les cordes avec un poids de 40 liv. le cylindre n'obéit qu'à l'effort de 90 onces.

Explications.

Le cylindre par ſon propre poids, ou par celui qui agit en *f*, tend à deſcendre: ſi quelque choſe le retient, ce ne peut être que la corde qui l'enveloppe de part & d'autre; car ſans cet obſtacle, on conçoit bien qu'il tomberoit: mais cet obſtacle n'en ſeroit point un, ſi la corde avoit une

flexibilité parfaite, si elle se plioit sans aucune difficulté; car alors toutes ses parties s'envelopperoient successivement sur le cylindre, & le laisseroient librement passer de l'endroit le plus haut à l'endroit le plus bas : toute la résistance qui céde premiérement à 45 onces, vient donc de la roideur des cordes qui sont tendues par le poids *CD*; & puisque cette roideur ne peut être vaincue que par 90 onces, quand le poids qui la fait naître, augmente de 20 à 40, c'est une preuve qu'elle croît, comme nous l'avons dit, en raison directe des forces qui tendent les cordes; car 45 sont à 90, comme 20 sont à 40.

II. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

On employe d'abord une paire de cordes, dont le diamétre est de deux lignes; elles sont tendues par un poids de 20 livres, & elles enveloppent un cylindre qui a un demi-pouce de diamétre.

Ensuite on fait servir une autre paire de cordes une fois plus menues

que les précédentes, à qui l'on donne le même degré de tension, & que l'on fait tourner sur le même cylindre.

Effets.

Dans le premier cas il faut 30 onces pour vaincre la roideur des cordes; dans le second il n'en faut que 15.

Explications.

Quand la corde se courbe, son diamétre perpendiculaire à la surface du cylindre qu'elle enveloppe, doit être considéré comme un levier qui a son point d'appui au cylindre même; plus ce diamétre est grand, plus la puissance ou le poids qui tend la corde, est éloigné de ce point d'appui, & par conséquent plus il résiste au poids du cylindre, ou à celui qu'il soutient en *g* *. Ou bien l'on peut considérer le diamétre de la corde & celui du cylindre, comme ne faisant qu'un même levier, dont le centre du mouvement est en *e*; on voit facilement que si le bras *e f* restant le même, *e h* devient plus long, la puis-

* *Fig.* 3.

IX. LEÇON.

sance qui agit en *L* en aura d'autant plus de force pour vaincre celle qui pése en *g*. En considérant ainsi la roideur qui vient de la grosseur des cordes, on voit tout d'un coup pourquoi lorsqu'on double leur diamétre, il faut aussi doubler le poids qui tend à faire descendre le cylindre. On voit de même pourquoi cette espece de résistance ne croît pas en raison de la solidité des cordes, comme on le pourroit croire, mais seulement en raison des diamétres, comme nous l'avons établi dans notre proposition.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les cordes étant de trois lignes de diamétre, & tendues par un poids de 60 livres, on employe d'abord un cylindre d'un pouce, & ensuite un autre d'un $\frac{1}{2}$ pouce de diamétre.

EFFETS.

La roideur des cordes avec le premier cylindre céde à 114 onces, & avec le second à 135.

EXPLICATIONS.

IX. LEÇON.

Les cordes & les poids qui les tiennent tendues restant les mêmes, leur roideur ne peut varier que par le diamétre du cylindre qu'elles enveloppent. Quand ce cylindre est plus petit, la corde est obligée de se courber davantage ; or puisque cette courbure en général est un obstacle à la descente du cylindre, comme nous l'avons fait voir par la premiere expérience, une plus grande courbure doit augmenter la résistance. On pourroit être tenté de croire, que le diamétre du cylindre une fois plus petit, devroit rendre la même corde une fois plus roide : mais l'expérience fait voir que ce rapport n'a pas lieu dans tous les cas ; car 135 onces, à beaucoup près, n'égalent pas deux fois 114, comme le premier cylindre égale deux fois le second, par la grandeur de son diamétre.

APPLICATIONS.

CE que nous avons prouvé par les expériences précédentes doit servir de régle dans l'usage des poulies, des

IX. LEÇON.

treuils, des cabeſtans, &c. toutes ces machines ne peuvent s'employer qu'avec des cordes, ou pour parler plus exactement, les cordes en ſont une partie eſſentielle; ſi l'on négligeoit de compter ſur leur roideur, on tomberoit infailliblement dans des erreurs conſidérables,, & le mécompte ſe trouveroit principalement dans les cas où il eſt le plus important de ne ſe point tromper, je veux dire dans les grands effets; car alors les cordes ſont néceſſairement groſſes & fort tendues.

On doit donc avoir ſoin, 1°. de préférer les grandes poulies aux petites, ſi la place le permet, non-ſeulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe a moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent, & qu'elles font mouvoir, y ſouffrent une moindre courbure, & leur oppoſent par conſéquent moins de réſiſtance; cette conſidération eſt d'une ſi grande conſéquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, ſelon la régle de M. Amontons *, on voit clairement que ſi l'on vouloit enlever un fardeau de

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 199. p. g. 22

800 livres avec une corde de 20 lignes de diamétre, & une poulie qui n'eût que trois pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres pour vaincre la roideur de la corde; au lieu qu'avec une poulie de 2 pieds de diamétre, cette espece de résistance céderoit à un effort de 22 liv. toutes choses égales d'ailleurs.

IX. LEÇON.

On peut juger de-là que les poulies mouflées ne peuvent jamais avoir tout l'effet qui devroit résulter du nombre & de la disposition des leviers qu'elles représentent; car dans ces sortes de machines les cordes ont plusieurs retours, & quoique les puissances qui les tendent, chargent d'autant moins les axes, que les poulies sont plus nombreuses, cependant, parce qu'il n'y a point de corde dont la flexibilité soit parfaite, en multipliant les courbures, on augmente nécessairement la résistance qui vient de leur roideur.

Cet inconvénient qui est commun à toutes les moufles, est encore plus considérable dans celles où les poulies rangées les unes au-dessus des autres, doivent être de plus en plus petites,

IX. LEÇON.

pour donner lieu à la corde de se mouvoir sans se toucher & se frotter. Car nous avons fait voir par la troisiéme expérience, que la corde a plus de peine à se plier, quand elle enveloppe un cylindre d'un plus petit diamétre : les poulies mouflées qui sont toutes de même grandeur, sont donc préférables dans les cas où la raison que nous venons d'exposer, n'est point combattue par d'autres plus fortes.

LES personnes qui sont dans l'habitude de tourner, soit au pied, soit à l'archet, savent, par leur propre expérience, combien il est nécessaire de proportionner la grosseur de la corde à celle de la piece qu'on fait tourner : si l'on n'a point cette attention, on ne peut jamais exécuter aucun ouvrage délicat entre deux pointes, parce que l'effort qu'il faut faire pour vaincre la roideur de la corde, porte sur la piece qu'on fait tourner ; cette piece ne peut le soutenir qu'autant qu'elle est forte de matiere : & rien ne marque mieux combien une corde trop grosse a de peine à se mouvoir, que le peu de temps qu'elle met

à s'échauffer & à s'user, quand elle enveloppe une partie fort menue. IX. Leçon.

Les cordes que l'on employe dans les machines destinées à faire de grands efforts, doivent être durables, parce qu'elles ne se font & ne se réparent qu'à grands frais : elles doivent être capables aussi d'une grande résistance, sans quoi elles deviendroient inutiles, ou elles occasionneroient des accidens fâcheux. Mais ces deux qualités sont difficiles à concilier avec une grande flexibilité, parce qu'elles ne peuvent gueres s'acquerir que par une grosseur considérable, & par quelque préparation qui donne nécessairement de la roideur. Les cables qu'on employe dans les bâtimens, & mieux encore ceux qui servent dans la navigation, seroient d'un usage bien plus avantageux & plus commode, si l'on pouvoit trouver quelque moyen de les rendre plus légers & plus flexibles, sans leur ôter la force qui leur est nécessaire, & sans les rendre moins durables ; le choix des matieres, la façon de les préparer & de les mettre en œuvre, doivent sans doute contribuer beaucoup à cet effet ; mais une

IX. LEÇON.

attention qu'on néglige un peu trop ; & qu'on devroit avoir cependant, c'eſt de proportionner les cordes aux efforts qu'elles ont à ſoutenir, de les choiſir aſſez fortes pour ne point manquer ; mais de ne rien faire de ſuperflu à cet égard, parce que cette force ſurabondante ne va point ordinairement ſans une augmentation de poids, de roideur, & de frais qu'il eſt toujours utile d'épargner.

La fabrique des cordes a été preſque entiérement abandonnée juſqu'ici à des ouvriers peu intelligens pour la plûpart, qui n'y travaillent que par routine, & qui ſe contentent de répéter ſervilement ce que d'autres ont fait avant eux : cet objet cependant eſt d'une aſſez grande importance, pour mériter l'attention des ſavans, & l'on ne peut être que très-ſatisfait de voir qu'il occupe quelques-uns de ceux qui refuſent leur temps à des ſpéculations ſublimes, aſſez ſouvent inutiles, pour le donner à des choſes qui tendent plus directement au bien-être de la ſociété. M. Duhamel du Monceau, pour remplir une partie des vues que les devoirs de ſa pla-

IX. LEÇON.

ce * lui ont fait naître, nous a donné un ouvrage qui contient l'art de la Corderie, fondé sur un grand nombre d'expériences qu'on lui a vû faire dans nos Ports. Ce n'est pas seulement une histoire ou une description de ce qu'on a coutume de pratiquer dans les atteliers où l'on fabrique des cordes, mais un recueil d'instructions nouvelles & utiles qui pourront procurer à cet Art la perfection dont il a besoin.

* *Inspecteur général de la Marine.*

APRE's avoir parlé de la roideur des cordes, & de la maniere dont on peut estimer la résistance qui en résulte dans les machines, il nous reste à dire quelque chose de leur force, & des changemens dont elles sont susceptibles, lorsqu'elles deviennent alternativement seches & humides.

Les cordes qui sont le plus en usage dans la méchanique, celles dont il s'agit principalement ici, sont des assemblages de fibres que l'on tire des végétaux comme le chanvre, ou du regne animal, comme la soie ou certains boyaux ou nerfs que l'on met en état d'être filés. Si ces fibres étoient assez longues par elles-mêmes, peut-

IX. LEÇON.

être se contenteroit-on de les mettre ensemble, de les lier en forme de faisceaux sous une envéloppe commune ; cette maniere de composer les cordes, eût peut-être paru la plus simple, & la plus propre à leur conserver cette qualité qui est la plus nécessaire, la fléxibilité : mais comme toutes ces matieres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'est-à-dire, en les tortillant ensemble, de maniere que les unes s'unissant en partie aux autres, sont embrassées & retenues de même par celles qui suivent ; le frottement qui naît de cette sorte d'union est si considérable, qu'elles se cassent plutôt que de glisser l'une sur l'autre selon leur longueur : c'est ainsi que se forment les premiers fils dont l'assemblage fait un cordon, & de plusieurs de ces cordons réunis & tortillés ensemble on compose les plus grosses cordes.

On juge aisément que la qualité des matieres contribue beaucoup à la force des cordes ; on conçoit bien aussi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire

une corde plus difficile à rompre, comme une plus grande quantité de fils forme un cordon d'une plus grande résistance : mais quelle est la maniere la plus avantageuse d'unir les fils ou les cordons ? le tortillement par lequel on a coutume de lier ces assemblages, donne-t-il plus de force aux cordes qu'elles n'en auroient, si les parties qui les composent étoient seulement réunies en forme de faisceaux ? c'est ce qui ne s'apperçoit pas aussi facilement ; si l'on en croyoit le préjugé, il semble qu'on décideroit en faveur du tortillement, parce que cette façon fait naître une union plus intime entre les parties composantes, & que la force du composé semble dépendre de cette union.

Il y a même des raisons spécieuses qui ont porté plusieurs Savans à juger comme le vulgaire à cet égard : on sait en général que la force d'un corps dépend de sa solidité, de sa grosseur ; le tortillement rend une corde plus grosse qu'elle ne le seroit, si ses fils ou cordons n'étoient qu'assemblés à côté les uns des autres ; car c'est un fait certain, qu'en tortillant ensemble cinq ou

IX. LEÇON.

six fils, on rend cet assemblage plus court & plus gros; il semble donc que cette grosseur acquise aux dépens de la longueur, devroit faire un corps plus difficile à rompre.

D'ailleurs le tortillement fait prendre aux fils une direction qui est oblique à la longueur de la corde qu'ils composent; & comme l'effort d'une corde se fait sur sa longueur, il s'ensuit que la force qui la tient tendue, n'agit qu'obliquement sur les fils, & que par conséquent ils en sont plus en état de résister; car une action oblique a moins d'effet qu'un effort qui se fait directement.

Malgré ces vraisemblances, l'expérience a décidé que cette façon que l'on donne aux cordes, commode & avantageuse à d'autres égards, les affoiblit plutôt qu'elle n'augmente leur force. C'est ce qui paroît d'une maniere bien décisive, par un mémoire fort curieux de M. de Reaumur *, où cette matiere paroît avoir été traitée pour la premiere fois, & d'où j'ai tiré les preuves que je vais rapporter.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc 1711, p. 6.*

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ON choisit un écheveau de fil à coudre, le plus égal qu'il est possible, on le divise en plusieurs bouts dont on éprouve la force en y suspendant des poids connus jusqu'à ce que les fils rompent. Lorsqu'on est assuré de ce qu'ils peuvent porter séparément sans se casser, on en tortille ensemble 2, 3, ou 4, &c. pour en faire une petite corde à laquelle on suspend pareillement des poids, pour savoir combien elle est en état d'en soutenir. Voyez la *Figure* 4.

EFFETS.

Les fils tortillés, en quelque nombre que ce soit, ne portent jamais un poids qui égale la somme de ceux qu'ils portoient séparément.

EXPLICATIONS.

Si le fil de notre expérience, employé simple, a une force équivalente à 6 livres, deux de ces fils *C*, *D*, porteront sans doute la somme

IX. LEÇON.

de 12 livres; mais il faut pour cet effet, que l'effort soit partagé également à l'un & à l'autre, que chacun des deux n'ait à porter que la moitié de la somme totale, c'est-à-dire, 6 livres.

Pour faire mieux sentir la nécessité de cette condition, imaginons que les deux poids de 6 livres *E*, *F* *, soient joints ensemble, & de maniere que de cette snmme de 12 livres, les deux tiers portent sur le fil *D*, & l'autre tiers sur *C*: le premier de ces fils cassera d'abord, parce que, suivant notre supposition, il ne peut porter que 6 livres, & non pas 8. Mais aussi-tôt qu'il sera rompu par cet effort excessif, l'autre se rompra aussi; parce qu'il se trouvera chargé seul de tout le poids, dont il ne pourroit porter que la moitié. Ainsi quoique chacun de ces fils puisse résister à un effort de 6 livres, l'un & l'autre ensemble ne peuvent soutenir 12 livres, à moins qu'ils ne soient également chargés. Mais lorsque les deux fils sont tortillés ensemble il arrive infailliblement que l'un des deux l'est plus que l'autre,

* Fig. 4.

&

& que l'effort du poids eſt inégalement partagé entr'eux ; de-là il arrive qu'ils ne peuvent jamais ſoutenir enſemble les 12 livres qu'ils auroient porté ſéparément.

Une autre raiſon de cet effet, c'eſt qu'en tortillant ainſi les fils, on les tend ; & cette tenſion tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent ſoutenir. Ils ne ſont donc plus en état de réſiſter autant qu'ils auroient pû faire avant que d'être tortillés.

APPLICATIONS.

LES cables & autres gros cordages qu'on employe, ſoit ſur les vaiſſeaux, ſoit dans les bâtimens, étant toujours compoſés de pluſieurs cordons, & ceux-ci d'une certaine quantité de fils unis enſemble, comme ceux de notre derniere expérience ; il eſt évident qu'on n'en doit point attendre toute la réſiſtance dont ils feroient capables, s'ils ne perdoient rien de leur force par le tortillement ; & cette conſidération eſt d'autant plus importante, que de cette réſiſtance dépend ſouvent la vie d'un grand nombre d'hommes.

IX. LEÇON.

Mais si le tortillement des fils en général rend les cordes plus foibles, comme nous l'avons fait voir, on les affoiblit d'autant plus, qu'on les tord davantage; & c'est une attention qu'on doit faire valoir, sur-tout dans les fabriques établies pour le service de la Marine, de ne tordre qu'autant qu'il est nécessaire pour lier les parties par un frottement suffisant: Il seroit bien à souhaiter qu'on eût sur cela une regle à prescrire aux ouvriers, & qu'on pût compter sur leur docilité, & sur leurs soins pour l'observer.

Lorsqu'on a quelque grand effort à faire avec plusieurs cordes en même temps, ce qui empêche assez souvent de réussir, c'est qu'on ne les fait point tirer également; & alors elles cassent les unes après les autres, par les raisons que nous avons dites ci-dessus, & mettent en risque ceux qui les ont employées. Le tirage égal des cordes qui concourent à un même effort, n'est pas toujours aussi facile qu'il est nécessaire à obtenir; c'est un de ces cas assez ordinaires en méchanique, où le succès dépend pres-

que autant de l'adreſſe & de l'intelligence de celui qui opere, que des forces qu'il fait agir. IX. Leçon.

Quant aux changemens qui peuvent arriver aux cordes, par la ſécheresse ou par l'humidité, ils dépendent principalement de la matiere & de la façon dont elles ſont faites : je ne m'arrêterai ici qu'aux plus remarquables, & à ceux qui ſont de quelque importance dans l'uſage des machines.

Toutes les cordes qui ſont compoſées de pluſieurs fibres, filets ou cordons que l'on a tortillés enſemble, ſe gonflent & deviennent plus groſſes lorſque l'eau les pénétre ; & au contraire à meſure qu'elles ſe ſéchent, elles diminuent un peu de groſſeur ; mais en devenant plus groſſes, elles perdent une partie de leur longueur, & elles ſe détordent un peu ; ce ſont deux faits connus depuis long-temps, & que j'ai ſouvent conſtatés par l'expérience ſuivante.



IX. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

J'ATTACHE au plancher, ou à quelqu'autre endroit fixe, des cordes de chanvre, de boyaux, &c. aux bouts desquelles je suspends des poids *H*, *K*, *Fig.* 5. assez forts seulement pour les tenir tendues, & qui finissent en pointe au-dessus & fort près de la tablette *IL*; au bout de chacune des cordes, immédiatement au-dessus du poids, je place un petit index de carton, *g*, ou *h*, qui fait un angle droit avec la corde que je mouille ensuite d'un bout à l'autre, par le moyen d'une éponge, ou autrement.

EFFETS.

On remarque 1ment, que les cordes s'accourcissent, parce que les poids qui les tiennent tendues, s'élevent un peu au-dessus de la tablette: 2ment, qu'elles se détordent, par le mouvement de l'index qui tourne peu-à-peu de droite à gauche

EXPLICATIONS.

L'eau s'introduit dans une corde, comme elle entre dans tous les corps poreux; elle en écarte les parties, & par cette raison la corde mouillée devient plus grosse. Mais les parties d'une corde sont des fibres qui se croisent un grand nombre de fois par le tortillement, & qui ne peuvent s'écarter l'une de l'autre, sans former un ventre, & sans que les extrémités se rapprochent: de-là vient le raccourcissement de toute la corde. Les particules d'eau qui ouvrent les petits interstices qui sont entre les fibres, dilatent aussi ceux qui se trouvent entre les cordons, & cette dilatation fait que la corde devient un peu moins torse.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que ces effets ont lieu, nonobstant les poids qui tiennent les cordes tendues, & ces poids peuvent être assez considérables; c'est un des exemples qu'on peut citer pour faire voir que de très-petites forces multipliées sont capables de produire de grands efforts. Une expérience qui

IX. LEÇON. est assez curieuse par elle-même, & que je vais rapporter, apprendra comment un fluide qui s'introduit dans une corde, peut la rendre plus courte en la grossissant, quoiqu'une puissance considérable s'oppose à cet effet.

VI. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *C*, *Fig.* 6. sont des vessies qui communiquent ensemble par des petits bouts de tuyaux qui servent à les joindre : *D* est un poids de 30 liv. qui repose sur le pied de la machine, quand les vessies sont vuides.

EFFETS.

Quand on souffle de l'air dans les vessies, par le tuyau qu'on voit en *E*, elles s'enflent, & le poids s'éleve de plusieurs pouces.

EXPLICATIONS.

L'air qui s'introduit dans les vessies les dilate ; mais les parois *A A*, *B B*, *C C*, ne peuvent s'écarter l'une de l'autre que les extrémités de cha-

que vessie ne se rapprochent, & que tout l'assemblage par conséquent ne devienne plus court, & n'oblige le poids à s'élever. IX. LEÇON.

Pour concevoir comment on peut élever par un simple souffle un poids aussi considérable, il faut faire attention que tout son effort se partage également à toute la surface des vessies ; l'orifice du canal *E e*, n'occupe qu'une très-petite partie de cette surface : s'il n'en occupe qu'un $\frac{1}{1000}$, par exemple, la résistance qui s'oppose à son embouchure, & qu'il faut vaincre pour introduire l'air en soufflant, n'est donc que la $\frac{1}{1000}$ partie de 30 livres.

Les côtés *b A b*, *c A c*, * d'une de ces vessies représentent assez bien les fibres qui composent les cordes ; comme l'air dilate les unes, l'humidité enfle les autres, & leur fait faire de grands efforts.

* *Fig. 6.*

APPLICATIONS.

CE qui arrive aux cordes que l'on mouille, se fait de même à l'égard des fils tords qu'on doit considérer comme de petites cordes, soit qu'on les employe simples, soit qu'on en for-

IX. LEÇON. me des tiſſus. C'eſt pourquoi les toiles neuves ſe raccourciſſent au premier blanchiſſage ; & généralement on voit toutes les étoffes ſe retirer lorſqu'on les mouille : celles qui ſont fabriquées avec deux ſortes de fils placés en différens ſens, ſe retirent inégalement, & font prendre une mauvaiſe forme aux ouvrages auxquels on les fait ſervir. Les bas & les gands tricotés ne ſe mettent & ne peuvent s'ôter qu'avec peine lorſqu'ils ſont humides ; cette difficulté ne vient que du rétréciſſement cauſé par les particules d'eau qui ont gonflé les fils ; ſans cela, l'interpoſition d'un fluide ne ſerviroit qu'à les faire gliſſer plus aiſément ſur la peau.

Le moyen de raccourcir les cordes en les mouillant, pourroit être d'un grand ſecours en certains cas : on dit (& c'eſt une tradition aſſez reçue,) qu'en élevant un obéliſque à Rome ſous le Pontificat de Sixte V. l'entrepreneur ſe trouvant embarraſſé, parce que les cordes étoient un peu trop longues, quelqu'un cria : *Mouillez les cordes* ; & que cet expédient ayant été tenté, réuſſit parfaitement.

Pour

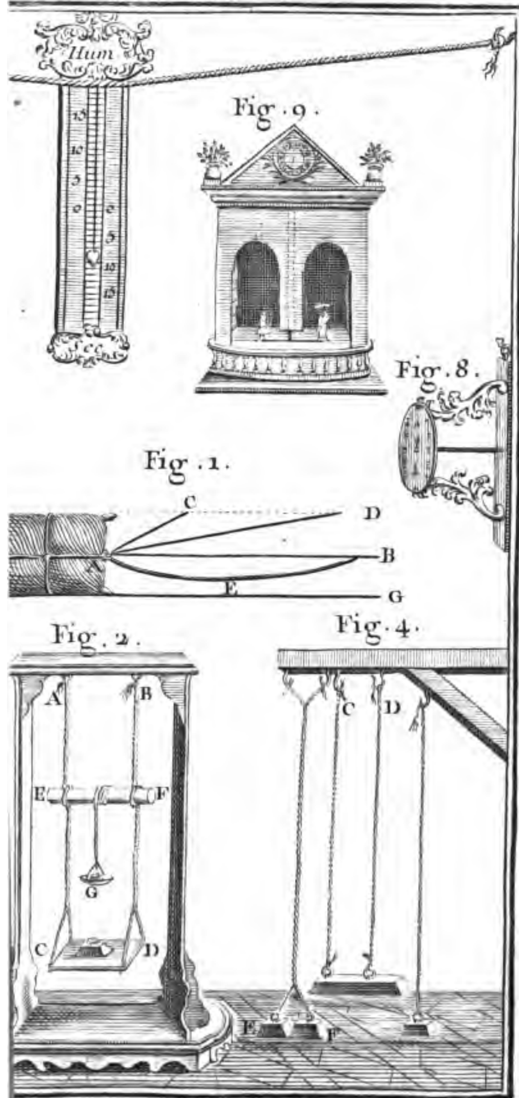
Pour vérifier ce fait, j'ai eu la curiosité de parcourir quelques ouvrages où l'on voit avec un grand détail, tout ce que Dominique Fontana fit par les ordres du Pape, depuis 1586 jusqu'à la fin de 1588, pour relever quatre anciens obélisques qui étoient ensevelis sous des ruines, savoir, celui du Vatican, qui fut placé devant l'Eglise de saint Pierre; un autre qui avoit servi au mausolée d'Auguste, & qui fut placé devant l'Eglise de S. Roch; deux autres enfin qui étoient du grand cirque, & dont l'un est aujourd'hui devant Saint Jean de Latran, & l'autre devant Sainte Marie du Peuple: dans toutes mes recherches, je n'ai pas vu un mot des cordes mouillées: je ne crois pas cependant que cette anecdote eût été omise dans ces descriptions, qui sont, à tous égards, très-circonstanciées: je croirois donc volontiers que le fait est apocryphe; mais sa possibilité n'est contestée de personne, & on la peut conclure des expériences que nous avons rapportées ci-dessus.

Il est à propos d'observer ici que les cordes mouillées ne peuvent vain-

IX. LEÇON.

cre de grandes résistances en se raccourcissant, qu'autant qu'elles sont faites de matieres peu susceptibles d'allongement par elles-mêmes, telles que sont les fibres des végétaux ou la soie : si l'on mouille des cordes de boyaux, quoiqu'elles tendent à se raccourcir par les raisons que nous avons dites, cependant on les allongeroit infailliblement en les tirant avec une certaine force, parce que les fibres qui les composent sont extensibles en toutes sortes de sens, & elles le sont d'autant plus alors, que l'humidité en les pénétrant, augmente leur souplesse.

Comme l'humidité & la sécheresse ont des effets sensibles sur les cordes, on a tâché d'en profiter pour connoître l'état de l'atmosphere à cet égard; ces instrumens qu'on nomme *Hygromètres*, & à qui l'on donne tant de formes différentes, consistent principalement en une corde de chanvre ou de boyaux qui marque en s'allongeant & en se raccourcissant, ou bien en se tordant & en se détordant, s'il regne dans l'air plus ou moins d'humidité. Le plus simple de tous se fait


Hum
Fig. 9.
Fig. 8.
Fig. 1.
C
D
B
E
G
Fig. 2.
A
B
E
F
G
C
D
Fig. 4.
C
D
E
F

avec une corde de 10 ou 12 pieds que l'on tend foiblement dans une situation horizontale & dans un endroit à couvert de la pluie, quoiqu'exposé à l'air libre ; on attache au milieu un fil de laiton, au bout duquel on fait pendre un petit poids qui sert d'index, & qui marque sur une échelle divisée en pouces & en lignes les degrés d'humidité en montant, & ceux de la sécheresse en descendant. *Voyez la Fig.* 7.

Assez souvent on fait des hygrométres avec un bout de corde de boyaux que l'on fixe d'un côté à quelque chose de solide, & que l'on attache par l'autre, perpendiculairement à une petite traverse qui tourne à mesure que la corde se tord ou se détord, & qui marque, comme une aiguille, sur la circonférence d'un cadran, les degrés de sécheresse & d'humidité, *Fig.* 8. ou bien on place sur les extrémités de la petite barre deux figures humaines de carton ou d'émail, dont l'une rentre & l'autre sort d'une petite maison qui a deux portiques, lorsque le sec ou l'humide fait tourner la corde ; & l'on fait porter un petit parapluie à celle des deux figures que le

IX. LEÇON.

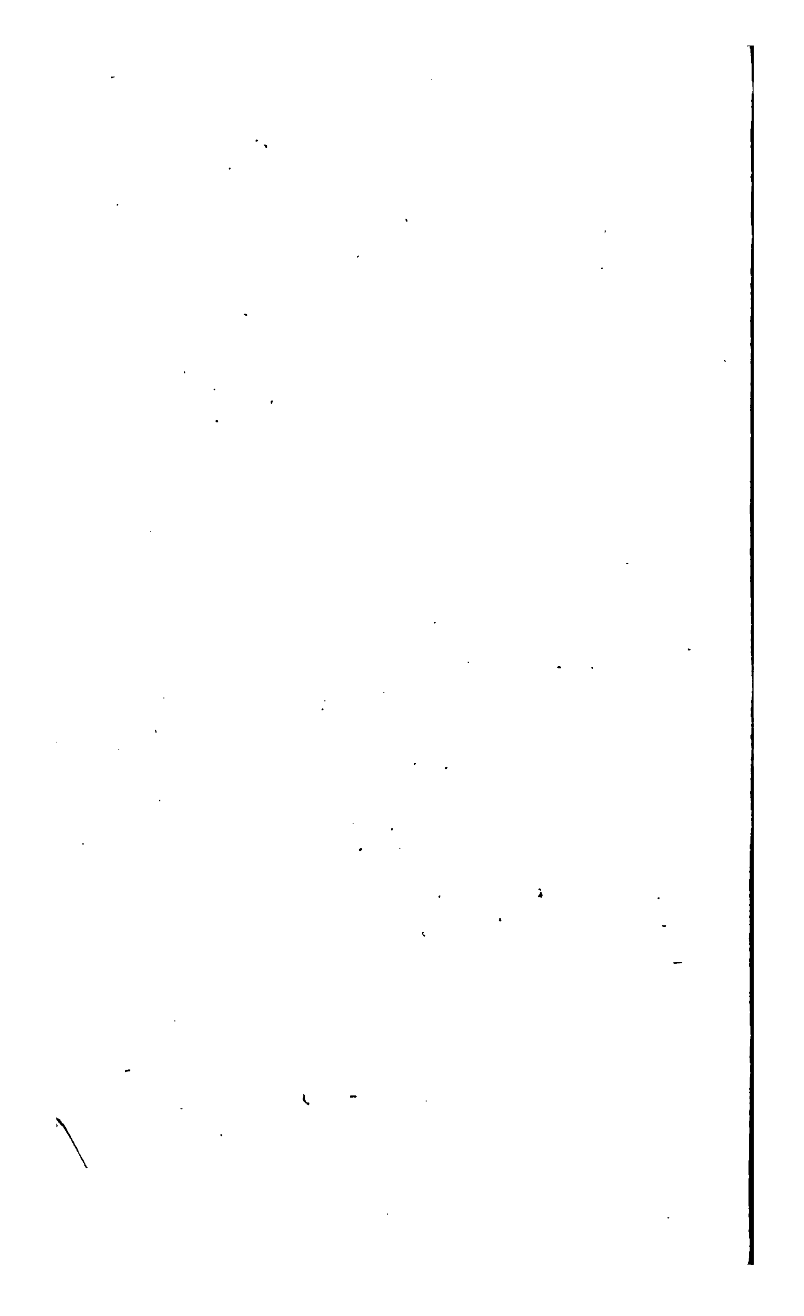
mouvement de la corde fait sortir lorsque l'humidité augmente. *Voyez la Fig.* 9.

Les hygrométres que l'on fait de cette façon ou d'une maniere équivalente, en cachant la corde pour y mettre un air de mystere, ne sont bons que pour amuser les enfans; & l'on ne doit point s'attendre qu'ils apprennent quel est l'état actuel de l'atmosphere, par rapport à l'humidité & à la sécheresse, parce qu'on les garde dans des appartemens fermés, & que la corde, qui en est l'ame, est contenue comme dans un étui, où l'air ne se renouvelle que peu ou point.

Enfin le meilleur de ces instrumens n'apprend presque rien autre chose, sinon que la corde est mouillée, ou qu'elle est seche : car, 1°. l'humidité qui l'a une fois pénétrée n'en sort que peu-à-peu, & selon l'exposition du lieu, le calme ou le vent qui régne; & bien souvent il arrive que l'atmosphere a déja perdu une grande partie de son humidité, avant que la corde en puisse donner aucun signe: 2°. Tout ce qu'on peut attendre d'un hygrométre à corde, c'est qu'il fasse

connoître s'il y a plus ou moins d'humidité dans l'air, par comparaiſon au jour précédent ; & l'on ſait cela par tant d'autres ſignes, qu'il eſt aſſez inutile de faire une machine qui n'apprend rien de plus. Ce qu'il importeroit le plus de ſavoir, c'eſt de combien l'humidité ou la ſéchereſſe augmente ou diminue d'un tems à l'autre, & de pouvoir rendre ces ſortes d'inſtrumens comparables ; ſans cet avantage, que les hygrométres à cordes n'auront probablement jamais, ils ne méritent gueres qu'on les compte au nombre des inſtrumens météorologiques.







X. LEÇON.

Sur la nature & les propriétés de l'Air.

IL eſt peu de matieres dont la connoiſſance nous intéreſſe autant que celle de l'air : ce fluide, dans lequel nous ſommes plongés dès l'inſtant de notre naiſſance, & ſans lequel nous ne pouvons vivre, mérite ſans doute l'attention de tous les êtres penſans qui le reſpirent : ſon action continuelle ſur nos corps a beaucoup de part aux différens états qu'ils éprouvent ; nous avons ſans ceſſe quelque choſe à eſpérer ou à craindre des changemens dont il eſt ſuſceptible. C'eſt par les propriétés & par les influences de l'air, que la nature donne l'accroiſſement & la perfection à tout ce qu'elle fait naître pour nos beſoins & pour nos uſages : c'eſt par l'air qu'elle tranſporte & qu'elle diſtribue les ſources de la fécondité aux différentes parties de la

X. LEÇON.

terre. L'air agité est, pour ainsi dire, l'ame de la navigation : par le moyen du vent, des vaisseaux qu'on pourroit regarder comme autant de villes flottantes, passent d'un bord à l'autre de l'Océan ; & l'on voit tous les jours en commerce des nations qui sembloient devoir s'ignorer perpétuellement, eu égard à la distance des lieux. Le son, la voix, la parole même ne sont qu'un air frappé, un souffle modifié, qui devient le véhicule de nos pensées, & qui a le pouvoir d'exciter & de calmer les passions (*a*). Tant de merveilleux effets ne peuvent s'apprendre avec indifférence : l'esprit qui est capable de les admirer, ne peut être insensible au plaisir d'en connoître les causes.

En quelqu'endroit qu'on se transporte sur la terre, soit qu'on change de climat, soit qu'on s'éleve des lieux les plus bas à la cime des plus hautes montagnes, on se trouve toujours dans l'air ; on ne connoît aucun lieu ni aucun temps où ce fluide ait

(a) *Ipse aer nobiscum videt, nobiscum audit, nobiscum sonat ; nihil enim eorum sine eo fieri potest.* Cic. de Nat. Deor. lib. 2. cap. 33.

manqué : cette conſidération nous autoriſe à croire que le globe que nous habitons eſt entouré d'air de toutes parts : & cette eſpece d'enveloppe que l'on nomme communément l'*Atmoſphere*, a des fonctions ſi marquées, elle a tant de part au méchaniſme de la nature, qu'on ne peut point douter qu'elle n'ait commencé avec la terre, & qu'elle ne doive durer autant qu'elle.

En qualité d'atmoſphere terreſtre, l'air a des propriétés qui ne lui appartiennent plus, lorſqu'on n'en conſidere qu'une petite portion, & que l'on fait abſtraction de tout ce qui pourroit s'y mêler d'étranger. Comme ces propriétés ne ſont, pour ainſi dire, qu'accidentelles, & qu'elles ne procédent pas directement de la nature de l'air, mais plutôt de ſa quantité, de la figure de ſa maſſe, de ſon mélange avec d'autres corps, &c. je crois qu'il eſt à propos de commencer par établir celles qu'il a toujours en qualité d'air, & indépendamment des conditions dont nous venons de parler.

X. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

De l'Air considéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de sa masse.

IL est presqu'inutile de dire que l'air est une substance matérielle : si l'on excepte les enfans qui n'ont point encore fait usage de leur raison, ou des hommes grossiers & sans éducation qui n'ont jamais réfléchi sur les choses les plus communes, il n'y a personne maintenant qui ne reconnoisse dans ce fluide les principaux attributs qui caractérisent les corps, l'étendue, la divisibilité, la résistance, &c. Tout le monde sait qu'il peut recevoir & transmettre le mouvement ; & si l'on dit qu'un vase est vuide quand on en a répandu l'eau, c'est une expression autorisée par l'usage, mais dont on reconnoît généralement la fausseté ou le peu de justesse.

Les Auteurs anciens, comme les modernes, ont reconnu que l'air est une matiere. Ceux d'entr'eux qui

l'ont qualifié d'*esprit*, ont sans doute employé ce terme dans le sens figuré, pour exprimer la subtilité de ce fluide, ou pour faire entendre combien il est nécessaire, pour la vie des animaux, & pour l'accroissement des plantes; ou s'il faut prendre cette expression littéralement, on a tort de traduire le mot latin *Spiritus* par celui d'*Esprit*: il signifie également un souffle, un air agité; & l'on doit croire qu'aucun Physicien ne l'a entendu autrement. Au reste l'autorité n'a point de force lorsqu'elle se trouve en contradiction avec l'expérience: l'usage de l'éventail fait sentir la résistance de l'air aux personnes mêmes qui cherchent le moins à s'en convaincre; & lorsque nous avons prouvé l'impénétrabilité des corps en général, les expériences que nous avons employées ont fait connoître spécialement celle de l'air.

Quelques Physiciens * ont pensé que l'air pourroit bien n'être autre chose qu'un mélange des particules les plus subtiles qui s'exhalent de tous les autres corps, & qui étant trop divisées pour reprendre leur premiere

* *Otto de Guerike, Exper. nov. Magdeb. lib. 2. c. 1. & lib. 4. c. 1. Boyle, Exp. Phys. Mech. edit. Genev. 1677. p. 69.*

X. LEÇON.

s'Gravesande, Physices Elem. Mat. p. 36. edit. 1742.

forme, demeurent sous celle d'un fluide particulier qu'elles composent; mais outre que cette opinion n'est appuyée sur aucune preuve, l'air a des propriétés constantes, des caracteres inaltérables par lesquels il se fait toujours connoître, & qui ne manqueroient pas de varier selon les circonstances du temps & du lieu, s'il étoit vrai qu'ils dépendissent de la décomposition de plusieurs matieres & de l'assemblage de tant d'extraits. Il est donc plus naturel de penser que l'air est une espéce de substance particuliere, dont la nature est fixe, que ses parties intégrantes sont homogénes, ou que ses principes sont unis de tout temps, pour ne céder à aucun des efforts que nous pourrions faire pour le décomposer.

La fluidité de l'air est telle qu'on ne la voit jamais cesser, tant que ses parties se touchent, & que leur contiguité n'est point interrompue par une trop grande quantité de matiere étrangere. Nous voyons communément des liqueurs se glacer par le froid; certains fluides comprimés ou condensés cessent de couler, & se fixent

sous la figure qu'on leur fait prendre : mais dans quelque climat & dans quelque saison que ce soit, on ne voit jamais aucune partie de l'atmosphere devenir solide ; & la compression la plus forte qu'on ait jamais employée, n'a pû durcir ou fixer l'air. La fluidité est-elle donc de son essence ? est-il absolument impossible qu'il la perde ? c'est ce que l'on ne voit pas ; mais aussi ce seroit une témérité d'avancer le contraire, sans en apporter des preuves.

Cette fluidité si constante de l'air viendroit-elle de la seule subtilité de ses parties, comme l'a pensé un savant Chymiste * ? c'est ce que l'on ne présumera pas, si l'on fait attention que l'eau, & quelques autres liqueurs, qui cessent d'être fluides par un grand froid, passent au travers de certains corps que l'air ne peut jamais pénétrer ** ; car si la ténuité des parties étoit capable d'entretenir constamment la fluidité, ou l'eau ne devroit pas se glacer plus que l'air, ou l'air, qui ne se glace jamais, devroit avoir des parties plus fines, plus pénétrantes que ne le sont celles de l'eau. Or c'est un fait constaté par

* *Boerhaave Chemia, tom. 1. p. 320.*

** *Boyle, nov. Exper. Phys. Mech ed. Genev. p. 108.*

X. LEÇON.

M. de Reaumur *, que l'air ne passe point au travers du papier mouillé, & de quelques autres matieres qui sont très-propres à filtrer l'eau ; d'où il résulte que les parties de l'air sont plus grossieres ou moins subtiles que celles de l'eau, à moins que la figure dans les unes ne compense la ténuité des autres.

* Mem. de l'Académie des Sciences, 1714. p. 59.

Il est assez vraisemblable que l'air demeure constamment fluide, parce qu'il est parfaitement élastique : s'il n'étoit que compressible, ses parties rapprochées pourroient peut-être se toucher d'assez près pour former un corps dur, & rien ne les obligeroit à sortir de cet état, comme la neige pressée entre les mains prend la figure & la consistance d'une boule solide : mais le ressort qu'elles ont, tend toujours à raréfier la masse qu'elles composent, parce que la plus forte compression ne peut que le tendre & non pas le forcer ; par ce moyen ces parties conservent cette mobilité respective en quoi consiste la fluidité.

On peut concevoir les parties intégrantes de l'air comme des petits filamens contournés en forme de spi-

res flexibles & élastiques, & leur assemblage à peu-près comme un paquet de coton ou de laine cardée que l'on peut réduire en un plus petit volume lorsqu'on le presse, mais qui tend toujours à se remettre dans son premier état. Cette idée n'est qu'une esquisse bien grossiere de la nature de l'air; & j'avoue qu'il y a peut-être cent contre un à parier, que les parties de cet élément n'ont point la figure que je leur attribue; parce que pour les supposer telles, je n'ai d'autre raison que leur flexibilité & leur ressort, & qu'elles peuvent être élastiques avec cent figures différentes d'un filet spiral: aussi lorsque j'adopte cette hypothése avec la plûpart des Physiciens, je ne prétends point dire ce qu'elles sont, mais seulement ce qu'elles peuvent être; & c'est moins pour prendre un parti sur leur figure, que pour être en état de faire mieux connoître le ressort admirable du fluide qu'elles composent, & quelques autres propriétés dont nous parlerons ci-après.

ON dit communément que l'air est sec; mais pourquoi lui attribue-t-on

X. LEÇON.

cette qualité? est-ce parce qu'il enleve de la surface des corps l'humidité qui s'y trouve? En effet, il arrive assez souvent qu'il fait l'office d'une éponge; mais aussi dans plusieurs cas il rend humides les corps qu'il touche, parce que les parties aqueuses dont il est toujours plus ou moins chargé, s'attachent à certaines matieres plus facilement & plus fortement qu'à l'air même : on expose du linge à l'air pour le faire sécher; mais le même procédé auroit un effet tout contraire à l'égard du sel de tartre ou de quelqu'autre sel; c'est pourquoi les cordes ou les toiles qui ont trempé dans l'eau de la mer se sechent difficilement à l'air, parce que l'eau demeure opiniâtrément attachée aux particules salines qui tiennent à la superficie.

Dira-t-on que l'air est sec, parce qu'il ne mouille pas comme les liqueurs? alors il faut convenir de ce qu'on doit entendre par le terme de *mouiller*: s'il signifie adhérer à la surface des corps solides, on doit demeurer d'accord que l'air mouille au moins un grand nombre de matieres :

res : car c'eſt un fait certain que ſi l'on verſe dans un vaſe quelque liqueur qui oblige l'air d'en ſortir, il demeure toujours une couche de ce fluide adhérente aux parois ; on ne l'apperçoit pas communément, parce qu'elle eſt fort mince & tranſparente ; mais elle devient ſenſible quand on la dilate, ſoit qu'on chauffe fortement le vaſe, ſoit qu'on le mette dans le vuide : & c'eſt par cette raiſon qu'un barométre qui n'a point été rempli au feu, c'eſt-à-dire, dont le mercure n'a point bouilli dans le tube, paroît terne ; & qu'on y apperçoit une infinité de petites bulles d'air qui ſont demeurées attachées au verre. Si *mouiller* ſignifie cette impreſſion qui ſe fait ſur la peau lorſque nous touchons une liqueur, impreſſion toujours différente de celle d'un corps ſolide, parce que les parties mobiles entr'elles & très-déliées, ſe moulent dans les pores, & procurent un attouchement plus exact & plus complet ; dans ce ſens l'air mouille auſſi, & ſi nous nous en appercevons moins, c'eſt que l'impreſſion qu'il a coutume de faire ſur

X. LEÇON.

notre peau nous est plus familiere : sa façon de mouiller est différente, sans doute, de celle des liqueurs, comme celles-ci mouillent aussi différemment les unes des autres ; l'esprit-de-vin mouille autrement que l'eau, & l'eau ne mouille pas comme l'huile ; c'est-à-dire, que leur application sur la peau excite des sensations différentes.

Dès que l'on sait par un nombre infini d'observations familieres, que l'air est matériel, que ses parties réunies forment une masse résistante, mobile, & capable de mouvoir d'autres corps, il est presque superflu d'examiner s'il est pesant : car quoique la pesanteur ne soit pas un attribut essentiel à la matiere, & qu'on puisse bien la concevoir sans cette tendance au centre de la terre ; cependant nous n'avons aucun exemple à citer qui nous autorise à excepter l'air de cette loi commune ; & nous devons présumer qu'il y est assujetti comme les autres corps sublunaires, à moins que nous n'ayons des preuves du contraire.

Mais bien loin d'avoir aucune raison pour attribuer à l'air une légéreté

absolue, des faits sans nombre nous forcent à reconnoître son poids : nous en avons rapporté plusieurs en traitant de l'hydrostatique; en voici d'autres qui le prouvent directement.

I. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 1. représente une de ces pompes que l'on nomme communément, *Machines pneumatiques* : quoique ce nom, à le prendre selon son étymologie, convienne également à toutes les machines qui servent aux expériences qu'on fait sur l'air; cependant par un usage qui a prévalu, il désigne spécialement celle avec laquelle on fait le *vuide*, c'est-à-dire, avec laquelle on pompe l'air d'un vaisseau, apparemment parce qu'elle a plus de célébrité que les autres, & que par son moyen on a fait un grand nombre de curieuses & utiles découvertes en ce genre. Son premier Auteur fut Otto de Guerike, Consul ou Bourguemestre de Magdebourg, qui commença à la faire connoître à Ratisbonne l'an 1654. Quelques années

X. LEÇON.

après, Boyle en fit construire une à peu-près semblable qu'il a beaucoup perfectionnée depuis. Le grand usage que fit de cette machine le Philosophe Anglois, & le succès de ses expériences, firent perdre de vûe le Magistrat Allemand à qui l'on en doit l'invention, de sorte qu'à présent le principal effet de cette pompe se nomme communément *le Vuide de Boyle*. M. Homberg touché des progrès qu'avoit fait la Physique en Allemagne & en Angleterre, par le moyen de cette ingénieuse machine, & n'ignorant pas de quelle utilité elle pouvoit être entre les mains des Savans, chercha les moyens de la rendre plus exacte qu'elle n'avoit été jusqu'alors; & par ses soins, l'Académie Royale des Sciences, dont il étoit membre, en fit faire une il y a environ 60 ans, que l'on voit encore au Jardin du Roi parmi les instrumens qui lui appartiennent. Enfin depuis que j'ai embrassé une profession qui me rend l'usage de cette pompe aussi fréquent que nécessaire, je me suis appliqué à la rendre telle, qu'elle pût être d'un service plus sûr, plus com-

mode & plus étendu qu'elle n'avoit été précédemment : on pourra juger si j'ai rempli ces trois objets, en lisant dans les Mémoires de l'Académie pour les années 1740 & 1741, les changemens & les augmentations que j'ai faits à cette machine, dont on trouvera l'histoire & la description, avec un détail que je ne puis me permettre ici.

Je dirai seulement, pour faciliter l'intelligence des faits que j'ai à rapporter dans la suite de cette Leçon, que la machine pneumatique dont je me sers est composée de six parties principales; savoir: 1°, d'un corps de pompe de cuivre *A*: 2°, d'un piston dont le manche est terminé en forme d'étrier *B*, pour être abaissé avec le pied, & garni d'une branche montante avec une poignée *C*, pour être relevé avec la main: 3°, d'un robinet dont on voit la clef en *D*: 4°, d'une platine couverte d'un cuir mouillé, sur lequel on pose le récipient ou la cloche de verre *E*: 5°, d'un pied *FG*, avec deux tablettes *H*, *H*, qui peuvent se hausser & se baisser à volonté: 6°, d'un rouet *IKL*, avec lequel on

IX. LEÇON.

peut tranſmettre un mouvement très-rapide dans un récipient, après qu'on en a pompé l'air.

Comme on ne peut pas faire le vuide d'un ſeul coup, il faut qu'on puiſſe remonter le piſton ſans faire rentrer dans le récipient l'air qu'on en a ôté, & qui a paſſé dans le corps de la pompe: pour cet effet la clef du robinet eſt percée de façon qu'en lui faiſant faire un quart de tour, on ouvre une communication par laquelle le piſton, en ſe relevant, pouſſe l'air du dedans au-dehors de la pompe, & l'on ferme en même temps tout accès du côté du récipient: enſuite en remettant la clef dans la premiere ſituation, on eſt en état de donner un nouveau coup de piſton.

Les autres fonctions de cette machine dépendent des propriétés mêmes de l'air que je dois faire connoître; c'eſt pourquoi je différe d'en parler juſqu'à ce que j'aye donné une idée aſſez étendue de ce fluide ſur lequel elle agit.

La *Fig.* 2 eſt un ballon de verre qui contient environ 15 pintes de Paris: le col eſt garni d'une virolle de cui-

vre, & d'un robinet qui s'ajuste à une vis qui excede de quelques lignes la platine de la machine pneumatique au centre, de sorte qu'on peut le vuider d'air, & le garder en cet état. X. LEÇON.

La *Fig.* 3. est une balance très-mobile à laquelle on met en équilibre le ballon vuide; & pour conserver au fléau une plus grande mobilité par la diminution des frottemens de son axe, on peut peser le ballon dans l'eau; ce qu'il est aisé de faire en y attachant des poids qui l'obligent à se plonger entiérement: alors la balance n'est chargée que de la pesanteur respective du ballon plongé, qui peut être diminuée autant que l'on veut, & du poids que l'on met de l'autre part pour le tenir en équilibre, comme nous l'avons fait voir dans la huitieme Leçon, par les expériences qui prouvent la seconde proposition.

EFFETS.

Lorsqu'on ouvre le robinet du ballon suspendu pour y laisser rentrer l'air, & qu'on le referme ensuite pour le laisser se plonger sans que l'eau y puisse entrer, il se trouve toujours

X. LEÇON.

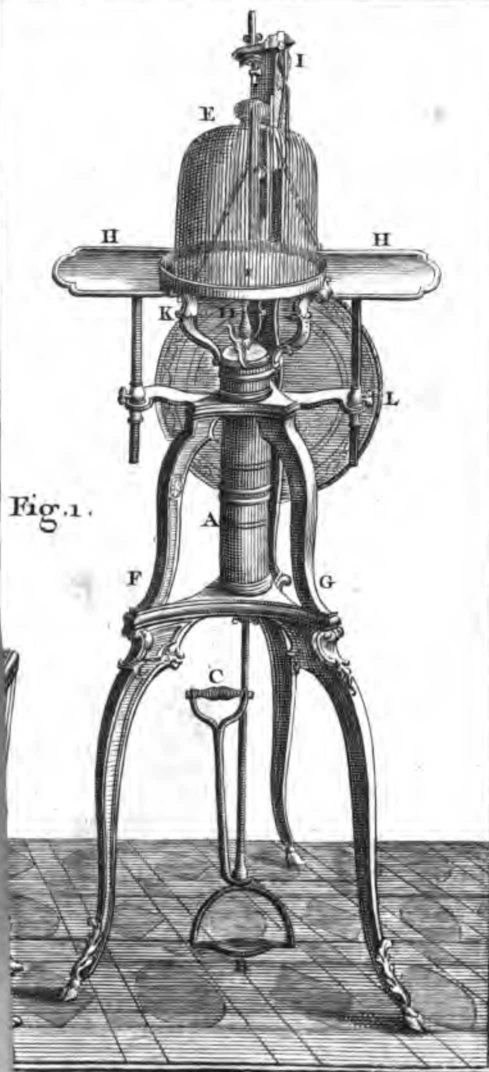
plus pesant que le poids de l'autre part avec lequel il étoit d'abord en équilibre.

EXPLICATIONS.

Cette expérience est la plus simple & la plus décisive de toutes celles qu'on employe pour prouver que l'air a une pesanteur absolue; car on sait que dans l'usage de la balance ordinaire, un poids ne peut être enlevé que par un plus grand poids; puisque le ballon devient plus pesant dès qu'il s'emplit d'air, c'est une marque certaine que cette augmentation vient du fluide qu'il a reçu.

On dira peut-être que le ballon, en se remplissant, ne reçoit point ce nouveau poids de l'air même qui y rentre, mais plutôt des corps étrangers, & des vapeurs aqueuses dont il est toujours chargé, & qui s'introduisent avec lui.

Quoique cette objection, au premier coup d'œil, ait tout l'air d'une mauvaise difficulté, & qu'elle n'ait arrêté presque personne de ceux qui ont fait ou connu cette expérience avant moi, je ne puis cependant dissimuler


I
E
H
H
K
D
L
Fig. 1.
A
F
G
C
B

simuler qu'elle m'a paru forte, surtout lorsque j'ai vû, par des épreuves faites en différens tems, qu'un volume d'air de 2 ou 3 pintes pris au hazard dans l'atmosphere, contenoit toujours assez d'eau pour rendre une once de sel de tartre sensiblement humide & plus pesante; car si l'on joint au poids de cette eau celui des autres matieres qui sont infailliblement répandues avec elle dans le même volume d'air, & que le sel de tartre n'a point absorbées, on pourroit être tenté de croire que de toute la pesanteur du fluide mixte, il n'y a rien qui appartienne aux parties propres de l'air.

X. LEÇON.

Cette considération a fait dire à M. Boerhaave * que l'air, de même que le feu, pourroit bien ne peser vers aucun point déterminé de l'Univers : je ne me suis point arrêté à cette conjecture; & bien loin de céder à la difficulté, je me suis mis en état de la combattre par le procédé que voici.

* *Chemiæ t. 1. p. 267.*

Je suspends le ballon plein d'air à la balance, & je le tiens en équilibre dans l'eau avec un poids connu : en-

X. LEÇON.

suite, sans le changer de situation; j'applique au robinet un siphon qui répond à la machine pneumatique pour y faire le vuide; à mesure que je raréfie l'air, je vois tomber au fond du ballon les vapeurs dont il est chargé, & qui ne sont point de nature à se raréfier comme lui & à le suivre; de cette maniere je fais rester dans le ballon (au moins pour la plus grande partie) ces corps étrangers à qui l'on pourroit soupçonner qu'il doit tout son poids, & je suis comme certain que ce qui sort du vaisseau est de l'air pur; cependant lorsque j'ai fermé le robinet, & que j'essaye de remettre le ballon vuide en équilibre avec le premier poids, je le trouve, à peu de chose près, d'autant plus léger qu'il étoit plus pesant dans la premiere expérience: d'où il suit incontestablement que l'air par lui-même & indépendamment des vapeurs & des exhalaisons avec lesquelles il se trouve mêlé, augmente le poids d'un vaisseau qu'il remplit.

Applications.

Par le moyen des expériences que

je viens de rapporter, non-seulement on peut s'assurer de la pesanteur absolue de l'air ; mais on peut connoître aussi quelle est sa pesanteur spécifique, en comparant un volume d'air connu dont on sait le poids, avec un pareil volume d'une autre matiere que l'on pése séparément : un exemple rendra ceci plus intelligle.

Après avoir mis mon ballon plein d'air & plongé dans l'eau en équilibre au bras de la balance, si je le rends plus léger en pompant la plus grande partie de l'air qu'il contient, le poids que j'ajoute ensuite de son côté pour rétablir l'équilibre, est justement celui de l'air qui en est sorti. Je renverse aussi-tôt le ballon dans l'eau, de maniere que l'orifice regarde le fond du vaisseau, & j'ouvre le robinet ; alors le poids de l'atmosphere pousse dans le ballon un volume d'eau qui égale celui de l'air qu'on a ôté : je ferme le robinet ; je remets le ballon dans sa premiere situation, & je charge le bassin de la balance, jusqu'à ce que tout soit en équilibre ; le poids que je suis obligé d'y mettre, est celui du volume d'eau qui est entré

X. LEÇON.

dans le ballon : ainsi en comparant les deux poids, je vois le rapport qu'il y a entre deux volumes égaux d'air & d'eau. En procédant ainsi, M. Hauxbée a trouvé que la pesanteur spécifique de l'air est à celle de l'eau, à peu-près comme 1 est à 885.

Au récit de ces expériences, on croiroit volontiers qu'il n'y a rien de plus facile à faire que cette comparaison du poids de l'air à celui d'un autre fluide par le moyen de la balance; cependant on n'en vient à bout qu'avec beaucoup de soins; & quelques précautions que l'on prenne, il reste toujours de l'incertitude dans le résultat.

La difficulté vient 1°, de ce que tous les fluides, & généralement tous les corps se dilatent par la chaleur, & se condensent par le froid, de sorte que l'air & l'eau que l'on compare dans le mois de Juin n'ont pas la même densité qu'au mois de Janvier : cet inconvénient ne seroit pas d'une si grande conséquence, si ces matieres, en se dilatant ou en se condensant, gardoient toujours entr'elles le même rapport; mais il s'en faut bien

que cela ſoit, & ce n'eſt point une petite affaire que de bien connoître les variations qu'elles éprouvent ſelon leurs différentes températures.

2°. Comme il n'y a point d'air parfaitement pur, auſſi n'y a-t-il point d'eau qui ne contienne quelque choſe d'étranger ; & quoi qu'en diſent quelques Auteurs, il y a bien des eaux, qui, au même degré de chaud & de froid, différent ſenſiblement de peſanteur entr'elles. Or s'il eſt néceſſaire de ſavoir quelle eau ou quel air on a peſé, pour conclure avec préciſion le rapport de l'une à l'autre, on ne peut donc prononcer en général qu'un à peu-près.

3°. Les variations du barométre nous apprennent que la preſſion de l'atmoſphere n'eſt pas toujours la même ; & nous verrons bien-tôt que l'air change de denſité ſelon qu'il eſt plus ou moins comprimé. Il peut donc arriver que le volume d'air meſuré par la capacité du ballon, ſoit plus peſant dans un tems que dans un autre ; c'eſt pourquoi M. Hauxbée, dans le récit de ſon expérience, n'a omis ni la hauteur actuelle du mer-

X. LEÇON.

cure dans le barométre (*a*), ni la ſaiſon dans laquelle il a operé ; au lieu de citer ſeulement le mois (*b*), il auroit ſans doute déſigné la température par le degré du thermometre, s'il y en avoit eu alors de comparables comme à préſent.

4°. Pour comparer exactement le poids de l'air avec celui de l'eau, il faut qu'en plongeant l'orifice du ballon où l'on a fait le vuide, il y rentre juſtement autant d'eau qu'il en eſt ſorti d'air, ſans quoi ce ne ſeroit plus comparer enſemble deux volumes égaux. Mais on ſait que quand une liqueur ſe trouve dans le vuide, l'air qu'elle contient s'en dégage, & s'éleve au-deſſus : c'eſt le cas où ſe trouve l'eau qui commence à monter dans le ballon ; elle blanchit par la quantité des bulles d'air qui s'en échappent ; & cet air occupant la partie ſupérieure du vaiſſeau, empêche qu'il ne reçoive autant d'eau qu'il devroit y en entrer, eû égard au vuide qu'on y avoit fait. Il faudroit donc avoir

(*a*) 29 p. $\frac{1}{2}$, meſure d'Angleterre, c'eſt-à-dire un peu moins que 28 pouces de France.

(*b*) Mai.

bien purgé d'air l'eau dont on veut se servir dans cette expérience ; & c'est ce qu'il ne paroît pas qu'on ait fait jusqu'à présent ; d'où il suit que l'on a conclu la pesanteur spécifique de l'air un peu plus petite qu'elle n'est en effet.

On ne doit donc pas être surpris de trouver si peu d'accord entre les Auteurs qui ont tenté ces sortes d'expériences, sur-tout dans des temps où les procédés étoient d'autant plus difficiles, qu'on étoit moins instruit des faits, & qu'on n'avoit pas les moyens dont on peut s'aider maintenant. Galilée établit le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 400 ; le Pere Mersene comme 1 à 1346 : quelle différence ! De tous les Physiciens qui ont cherché depuis à résoudre cette question, personne n'a trouvé l'air aussi pesant qu'il le seroit suivant le premier de ces résultats, ni aussi léger qu'il paroît l'être par le dernier (a) : & si l'on prend un milieu entr'eux,

(a) Boyle dans ses Expér. Physicoméch. conclut que l'eau commune est 938 fois plus pesante que l'air : & dans d'autres endroits, il varie sur cette estimation. M. Homberg,

X. LEÇON.

il paroît assez constant que l'eau de pluie est environ 900 fois plus pesante que l'air, l'un & l'autre étant pris dans une température moyenne, comme de 12 degrés au-dessus du terme de la glace, le barometre étant à 28 pouces.

Comme les volumes sont en raison réciproque des pesanteurs spécifiques, il faudroit donc un volume d'air d'une densité uniforme & égal à 900 pieds cubes, pour faire équilibre à un pied cube d'eau qui pése environ 70 livres; d'où il suit que la pesanteur absolue d'un pied cube d'air, est à peu-près une once & deux gros (*a*).

La pesanteur de l'air étant une fois connue, on ne doit plus être surpris de sentir la main s'attacher sur un petit récipient ouvert par le haut, lorsqu'on y fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique : car tant

comme il paroît par l'hist. de l'Ac. des Sciences, après avoir aussi changé plusieurs fois d'avis, a donné le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 1087; M. Halley, comme 1 à 860; M. Hauxbée comme 1 à 885; M. Muschenbrock comme 1 à 681.

(*a*) Wolf. Elem. Aërom. p. 741. dit qu'un pied cube d'air pése une once 27 grains.

que le vase est plein d'un air aussi dense que celui de l'atmosphere, la main se trouve appuyée non-seulement sur les bords, mais encore sur la masse du fluide qui est renfermé, & qui résiste à la pression extérieure ; mais quand on a fait le vuide, la main, toujours pressée par l'air du dehors, ne se trouve plus soutenue que par les bords du récipient ; & pour l'en séparer, il faudroit faire de bas en haut un effort capable de soulever la colonne d'air qui pése dessus. Or le poids de cette colonne égale celui d'un cylindre de mercure qui auroit pour base le plan qui est terminé par les bords du récipient, & 27 à 28 pouces de hauteur, comme on l'a vû par la fameuse expérience de Toricelli *.

* 7. Leçon p. 275.

Il suit de-là que cette pression est d'autant plus grande & plus sensible, que le récipient a plus d'ouverture par en haut ; c'est pourquoi la main y tient bien davantage que le bout du doigt, lorsqu'on le pose sur le trou même qui est au centre de la platine ; & par la même raison, une clef forée que l'on succe, & qui s'attache ensuite à la langue ou à la lévre, s'en

X. LEÇON.

détache d'autant plus difficilement que le tuyau eſt plus gros.

Quand on fait ainſi le vuide ſous la main, ou ſous quelqu'autre partie du corps, on doit avoir ſoin que les bords du récipient ne ſoient pas trop aigus; car ils pourroient bien entamer la peau: on peut en faire l'épreuve avec la moitié d'une pomme ou avec une tranche de navet; au premier coup de piſton, il arrive preſque toujours qu'il s'en détache un cercle qui entre dans le vaſe avec impétuoſité & avec bruit.

Cette adhérence que l'on peut faire naître par la preſſion de l'air extérieur, pourroit être employée fort utilement dans la Chirurgie: je ne parle point de la ventouſe qui eſt ſi connue, & dont l'uſage eſt maintenant aſſez négligé en France; mais n'y auroit-il pas des occaſions où l'on auroit beſoin de ſaiſir, pour un peu de temps, une partie délicate, qui, par ſa figure, par ſon volume, ou par ſa molleſſe, ne donne point de priſe aux tenettes & autres inſtrumens? une petite pompe dont l'orifice formé en pavillon, pourroit être de telles dimen-

ſions, & garni de telle maniere qu'on le jugeroit à propos pour l'opération, deviendroit un moyen ſûr & avantageux entre les mains d'un homme intelligent ; c'eſt aux gens de l'art à juger de l'application qu'on en pourroit faire.

Il ſemble d'abord que cette preſſion extérieur de l'air, qui vient de ſon poids, devroit écraſer les cloches de verre, dont on couvre la platine de la machine pneumatique pour faire le vuide; mais pour peu qu'on y faſſe attention, on verra que ces vaiſſeaux, étant toujours uniformément arrondis en forme de cylindre ou de voûte, ſont à l'abri de cet accident : comme la ſurface extérieure eſt néceſſairement plus grande que celle du dedans, toutes les parties qui compoſent l'épaiſſeur, reſſemblent à celles dont on fait les cintres; ce ſont autant de coins ou de pyramides tronquées, qui ſe ſoutiennent mutuellement, à meſure qu'elles ſont preſſées vers un axe ou un centre commun, par l'action d'un fluide qui péſe en tout ſens. On peut voir par la *Fig.* 4. l'épaiſſeur d'un récipient coupé ſe-

lon son axe, & par la *Fig.* 5. le même vaisseau coupé parallélement à sa base.

X. LEÇON.

Ce qui prouve bien que la forme arrondie défend les vaisseaux contre le poids de l'air, lorsqu'ils en sont vuides, c'est qu'ils se cassent infailliblement, quand ils ont une autre figure. Que l'on applique à la machine pneumatique celui qui est représenté par la *Fig.* 6. il est ouvert de part & d'autre, comme le petit récipient sur lequel on applique la main : mais au lieu de le boucher ainsi, on étend & on lie dessus un morceau de vessie mouillée qui lui sert de fond, & qu'on laisse sécher ; à mesure qu'on fait agir la pompe dessous pour le vuider, le poids de l'air extérieur fait prendre à cette vessie tendue la forme d'une calotte renversée, & enfin elle creve avec éclat. Un morceau de verre de vitre, ou de glace de miroir, que l'on poseroit en la place de cette vessie, se briseroit de même, s'il étoit exactement appliqué sur les bords du vaisseau, par le moyen d'un cuir interposé, ou autrement. Les bouteilles de verre mince qui sont fort appla-

ties, & ordinairement couvertes d'osier, crevent assez souvent, quand on les porte à la bouche à demi-pleines de liqueur, pour boire à même; car la succion raréfie l'air intérieur, & le poids de l'atmosphere agissant sur les deux côtés plats, les porte l'un vers l'autre, & brise le vaisseau.

Ces sortes d'épreuves, & sur-tout celle de la vessie, causent toujours quelque étonnement aux personnes qui les voyent pour la premiere fois, par le grand bruit qui les accompagne. Cet effet vient de ce que l'air entre avec une grande vîtesse (*a*) & tout à la fois en grand volume, dans un vaisseau vuide dont il frappe les parois: car le bruit vient primitivement du choc des corps, comme nous le ferons voir par la suite; & les fluides sont très-capables de heurter les solides.

On remarque quelque chose de semblable, lorsqu'on tire brusquement le couvercle d'un étui à cure-

(*a*) Selon M. Papin, l'air de l'atmosphere en rentrant dans le vuide, va avec une vîtesse qui lui feroit parcourir 1305 pieds dans une seconde. *Abrég. de Lowtorps*, *T.* 1. *p.* 586.

X. LEÇON.

dents, d'une écritoire de poche, ou le piston hors d'une seringue qui est bouchée par l'autre bout; c'est qu'alors on fait une sorte de vuide que l'air du dehors se hâte de remplir, dès que l'accès lui est libre: car pendant qu'on ouvre l'étui, la capacité *AB*, *Fig.* 7. s'augmente de la quantité *B C*, & l'air intérieur en devient d'autant plus rare; puisqu'au lieu d'être contenu entre *A B*, comme il l'étoit dans son état naturel, il s'étend jusques en *C*: mais ceci s'entendra encore mieux, quand nous aurons expliqué de quelle maniere l'air se raréfie, lorsqu'on fait usage de la machine pneumatique.

La densité de l'air, d'où dépend sa pesanteur spécifique, n'est point constante, elle varie beaucoup, non-seulement par le froid & par le chaud, comme il arrive à toutes les autres matieres, mais aussi par une compression plus ou moins grande à la maniere des corps à ressort. Je dis à la maniere des corps à ressort, parce que pendant tout le temps que l'air est comprimé, il conserve constamment la faculté de s'étendre & d'occuper

un plus grand espace, aussi-tôt que l'on fait cesser les causes qui resserrent son volume, comme le crin, la laine, le duvet de plume, &c. avec cette différence cependant, que toutes ces matieres perdent leur élasticité en tout ou en partie, quand elles sont trop fortement ou trop longtemps comprimées, au lieu que l'air se rétablit toujours parfaitement; au moins peut-on dire qu'il n'y a jusqu'à présent aucun fait connu qui prouve le contraire (*a*).

L'air se comprime lui-même par son propre poids, de sorte que celui que nous respirons dans la plaine, est plus dense que celui qu'on trouve sur une montagne; parce que celui-ci est chargé d'une colonne moins longue que celui-là.

Mais de quelque maniere que l'air soit comprimé, son ressort fait toujours équilibre à la puissance qui restraint son volume, de maniere que

(*a*) M. de Roberval a gardé pendant 15 ans de l'air comprimé dans une canne à vent; & après cet espace de temps, l'air a montré dit-il, autant de force qu'il a coutume d'en avoir, en pareil cas.

X. LEÇON.

si sa réaction devient libre, il pourra faire, en qualité de fluide élastique, tout ce qu'auroit pû faire la force qu'on a employée pour le comprimer : les expériences suivantes serviront d'éclaircissement & de preuves à ces propositions.

II. EXPERIENCE.

Preparation.

EFG, *Fig.* 8. est un tuyau de verre recourbé en forme de siphon, dont la plus longue branche a environ 8 pieds de longueur, & la plus courte 12 pouces, à compter de *d* en *G* : ce tuyau peut avoir intérieurement 3 ou 4 lignes de diametre, & la partie *d G* doit être parfaitement cylindrique; il est ouvert en *E*, & fermé en *G*; & il est attaché solidement sur une planche assez épaisse pour ne point plier facilement, & divisée en pouces de *d* en *E*, & de *d* en *G*. Cet instrument étant debout, on y fair couler un peu de mercure, de maniere que le coude en soit rempli : on continue ensuite de verser du mercure dans la branche la plus longue; & à

mesure

mesure qu'elle s'emplit, on observe, par les divisions qui sont marquées de part & d'autre, quels rapports gardent entr'elles les élévations du mercure dans les deux branches.

EFFETS.

Lorsque le mercure est élevé de 4 pouces au-dessus du point *d* dans la plus courte branche; à compter du niveau de cette élévation, il s'en trouve 14 pouces dans la plus longue.

En continuant de verser du mercure, on remarque que 6 pouces d'élévation vers *G*, répondent à 28 pouces de l'autre part; & 9 pouces à 84.

EXPLICATIONS.

Avant que de faire couler du mercure dans l'instrument, toute sa capacité est remplie d'un air qui est comprimé par le poids même de l'atmosphere : en mettant du mercure dans le coude *d*, on divise cet air en deux colonnes, dont une *Ed*, souffre toujours la même compression de la part de l'air extérieur, avec qui elle com-

X. LEÇON.

munique : & l'autre *d G* doit être considérée comme un ressort précédemment tendu par le poids de l'atmosphere : tant que le mercure est en équilibre avec lui-même dans la ligne *d h*, cette petite colonne d'air faisant aussi équilibre par son ressort à l'autre, qui pése en *d*, son volume ne doit ni augmenter ni diminuer ; mais lorsqu'on ajoute du mercure dans la plus longue branche, il ne s'éleve pas également dans la plus courte, parce que l'air qui s'y trouve renfermé, lui fait obstacle. Cette opposition cependant n'empêche pas qu'il ne soit restraint dans un plus petit espace, parce qu'alors il est pressé, non-seulement par le poids de l'atmosphere, comme auparavant, mais encore par une colonne de mercure dont la hauteur ne doit se compter que du niveau de son élévation dans la plus courte branche, puisque ce qu'il y en a au-dessous de cette ligne est égal de part & d'autre.

On doit se souvenir qu'en parlant du barometre *, nous avons observé qu'une colonne de mercure d'environ 28 pouces de hauteur ; pése au-

* Tome II. VII. Leçon, p. 295. & suiv.

tant qu'une colonne d'air de même base, & de la hauteur de l'atmosphere : 14 pouces de mercure ajoutés au poids de l'air extérieur augmentent donc d'un tiers la pression qu'il exerce contre celui qui est entre *G d*; voilà pourquoi le volume de cette portion d'air se condense, & que ce cylindre, au lieu de demeurer long d'un pied, diminue de 4 pouces, qui sont le tiers de sa premiere longueur.

Par la même raison, lorsque la colonne de mercure est de 28 pouces au-dessus de son niveau, le poids de l'atmosphere est doublé, & l'air qui soutient cette double compression, ne forme plus qu'un cylindre de six pouces de hauteur; c'est-à-dire, que son volume diminue de moitié.

Enfin 84 pouces de mercure font trois colonnes l'une sur l'autre de 28 pouces chacune, dont la somme égale trois fois le poids de l'atmosphere, & qui doivent par conséquent faire perdre les trois quarts de son volume à la colonne d'air *d G* qu'elles compriment; ainsi cette colonne de 12 pouces se réduit à trois.

X. LEÇON.

Cette expérience que l'on doit à Boyle * & à M. Mariotte **, prouve fort bien, comme on voit, que l'air comprimé diminue de volume comme la pression augmente: & puisque la densité d'une matiere croît à mesure que ses parties se rapprochent & qu'elles occupent ensemble un moindre espace, on peut dire que l'air se condense, en raison directe des poids dont il est chargé. Cependant il est assez raisonnable * de croire que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes, ou bien il faudroit supposer gratuitement, que l'air eût à cet égard un privilége exclusif; car nous ne connoissons aucun corps élastique qui puisse être comprimé à l'infini, & toujours proportionnellement aux puissances dont il éprouve l'action. D'ailleurs comme l'air n'est jamais pur, & que les matieres dont il est chargé, ne sont pas compressibles comme lui, on doit croire, qu'après une compression très-grande, ses parties cesseroient d'être flexibles, parce qu'elles seroient appuyées sur des corps étrangers, dont la nature est de ne céder à aucune force connue.

* *Contra Linum*, p. 42.
** *Oeuvres de M. Mariotte*, in-4. T. I. p. 153.
* *Hist. de l'Ac.* 1702. p. 2.

POUR faire avec exactitude l'expérience que je viens de rapporter, il faut 1°. Que les deux branches de l'instrument soient paralléles entr'elles, & les tenir dans une situation bien verticale pendant qu'on observe les élévations du mercure; car comme les liquides pésent en raison de leur hauteur perpendiculaire à l'horison, si ces branches étoient penchées, la pression ne seroit pas comme la longueur des colonnes qu'elles renferment. 2°. Il faut prendre garde d'échauffer ou de refroidir le volume d'air contenu dans la branche *d G*; car il changeroit de dimensions, indépendamment de la pression qu'il souffre de la part du mercure, & de l'air extérieur. 3°. On doit avoir soin que la branche courte soit intérieurement bien cylindrique; car autrement des parties égales mesurées sur sa longueur, ne donneroient pas des capacités semblables, & l'on ne pourroit pas conclure avec justesse, le degré de condensation de l'air par le raccourcissement de la colonne, qu'il représente à mesure que la compression augmente.

X. LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

II, *Fig*. 9. repréſente un ſeau rempli d'eau, dont on obſerve la température par le moyen d'un thermometre qu'on y plonge; on aſſujettit dans ce premier vaiſſeau, avec un poids ou autrement, une bouteille dont l'orifice *LL* eſt fort large : on prépare enſuite un bouchon de liege que l'on perce au milieu pour recevoir le tube du barometre *K M*, & l'on place l'un & l'autre de façon que la partie inférieure du barometre ſoit dans la bouteille; après quoi l'on verſe ſur le bouchon de la cire fondue & mêlée de térébenthine, pour empêcher qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans & celui du dehors ; mais de peur que la chaleur de la cire n'échauffe l'air intérieur, & n'en change la denſité, il faut pratiquer au travers du bouchon & de ſon enduit, un petit canal que l'on ne ferme que quand tout eſt bien refroidi : alors on marque avec un index à quelle hauteur le mercure ſe tient dans le barometre.

EFFETS.

Non-seulement le mercure ne hausse ni ne baisse au moment qu'il est renfermé : mais quoique par la suite il fasse appercevoir ces sortes de variations suivant la température du lieu où il est ; toutes les fois qu'on le rappelle au degré de chaud ou de froid qu'il avoit dans le vaisseau *II*, où s'est faite la préparation, le mercure se remet à la hauteur indiquée par l'index ; & cet effet est toujours le même après plusieurs années.

EXPLICATIONS.

Un instant avant qu'on ferme la bouteille, l'air qu'elle contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'atmosphere, en soutient la pression, & la transmet en s'appuyant contre les parois intérieures du vaisseau, & contre tout ce qui s'y trouve renfermé ; cet air agit alors comme pesant sur le réservoir du barometre, & soutient le mercure à 28 pouces. Aussi-tôt que la bouteille est bouchée, cette même masse d'air n'a plus que son propre poids, qui est

X. LEÇON.

bien peu de chose en comparaison de celui de l'atmosphere, à qui elle étoit jointe précédemment ; mais elle reste comprimée selon toute la force de ce poids dont elle n'est plus chargée, & sa réaction est égale à cette force ; c'est pourquoi elle soutient, en qualité de corps à ressort, les 28 pouces de mercure qu'elle portoit, lorsqu'elle pesoit avec l'air extérieur.

Il suit de cette épreuve que non-seulement le ressort de l'air est égal à la force qui l'a comprimé ; mais on voit aussi que cette élasticité ne s'affoiblit pas, comme celle des autres corps, par succession de temps, puisque le mercure se soutient, ou revient toujours au même degré d'élévation, quoique pendant plusieurs années on tienne la même masse d'air en expérience.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 10. représente deux hémispheres concaves de cuivre, & de 6 pouces de diametre, dont l'un est garni d'un robinet, par lequel il peut s'ajûster


g . 11 .


Fig . 5 .


K
Fig . 9 .


L
L
A
Fig . 6 .
M
I
I

s'ajuster à la machine pneumatique : & l'autre porte un anneau au milieu de sa convexité, pour être facilement suspendu. Ces deux calottes se joignent en forme de globe ; & pour rendre la jonction plus facile & plus exacte, l'une des deux a ses bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excede autant en-dedans qu'en dehors ; on le couvre d'un cuir mouillé sur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémisphere, qu'on a eu soin de bien dresser.

Tout étant ainsi disposé, on fait le vuide dans cette boule creuse, & l'on ferme le robinet pour la tenir en cet état ; lorsqu'elle est détachée de la machine pneumatique, on joint au robinet un crochet de métal capable de porter un poids de 60 livres, & l'on attache l'anneau à quelque point fixe.

EFFETS.

Quand ces deux hémispheres ainsi joints sont suspendus, comme on le peut voir par la *Fig.* 11. le poids de 60 livres qu'on y attache, n'est pas capable de les séparer l'un de l'autre ;

X. LEÇON.

& quand on ouvre le robinet pour laisser rentrer l'air, la moindre force les désunit.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

QUAND les deux hémisphères sont attachés ensemble par l'évacuation de l'air, au lieu de les ôter de la machine pneumatique, il faut seulement dévisser deux ou trois tours, le robinet par lequel ils sont appliqués à la pompe, afin qu'on puisse faire le vuide dans un récipient dont on les couvrira. Ce vaisseau doit être ouvert par le haut, & garni d'une boîte de cuivre rempli de cuirs gras pressés les uns sur les autres, au travers desquels on fait passer une tige de métal bien arrondie & bien cylindrique. Cette tige porte d'un côté un anneau par lequel on la peut faire mouvoir de bas en haut & en tournant; & à son autre bout on ajuste un crochet qui s'engage dans l'anneau de la calotte supérieure, comme il est représenté par la *Fig.* 12.

Par le moyen de cette boîte à

cuirs, lorſqu'elle eſt bien faite, on peut tranſmettre toutes ſortes de mouvemens dans le vuide, ſans que l'air y rentre, au moins d'une quantité ſenſible. Il eſt inutile de dire, qu'au lieu du crochet dont on ſe ſert dans cette expérience, on peut ajuſter au bout de la tige tout autre inſtrument dont on aura beſoin ſelon les circonſtances.

EFFETS.

Quand on a raréfié l'air du récipient à un certain degré, & que l'on tire la tige de la boîte à cuirs, de bas en haut, les deux hémiſpheres ſe ſéparent ſans peine; & ſi l'on remet en place celui qu'on a ſoulevé, en faiſant rentrer l'air dans le récipient, on les attache auſſi fortement qu'ils l'étoient avant qu'on les plaçât dans le vuide.

EXPLICATIONS.

Les deux hémiſpheres ne s'attachent point enſemble tant que l'air qui s'y trouve renfermé demeure dans ſon état naturel, c'eſt-à-dire, auſſi denſe que celui du dehors, parce

X. LEÇON.

que l'effort qu'il fait pour s'étendre & pour écarter ces deux calottes qui lui font obſtacle, eſt préciſément égal à celui de l'atmoſphere qui les preſſe extérieurement ; chacune d'elles ſe trouve en équilibre entre deux puiſſances de même valeur.

Mais quand cet air intérieur ſe trouve raréfié par l'action de la pompe, la force de ſon reſſort en eſt d'autant affoiblie ; l'équilibre eſt rompu, & l'adhérence des deux hémiſpheres eſt proportionnelle à la différence qu'il y a entre la denſité de l'air qui preſſe extérieurement, & celle de l'air qui réſiſte en dedans ; de ſorte que ſi celui-ci pouvoit être réduit à zéro, il faudroit employer, pour ſéparer ces deux pieces, un effort un peu plus grand que le poids d'une colonne entiere de l'atmoſphere, dont la baſe auroit ſix pouces de diamétre, ce qui feroit plus de 400 livres ; en ſuppoſant ſeulement, ſelon l'évaluation commune, qu'une colonne de l'atmoſphere fait une preſſion de 12 livres ſur un eſpace circulaire d'un pouce de diamétre.

Lorſqu'on a placé la boule vuide

ſous un récipient qui lui ôte toute communication avec l'atmoſphere, ce n'eſt plus, à la vérité, le poids de cet atmoſphere, qui retient les deux hémiſpheres l'un contre l'autre; mais c'eſt la réaction d'une maſſe d'air comprimé précédemment par ce poids, & qui eſt capable des mêmes effets: c'eſt pourquoi ces deux pieces ne ſe ſéparent facilement, que quand on a détendu le reſſort de l'air environnant, en diminuant ſa denſité par pluſieurs coups de piſton, juſqu'à ce qu'il ſoit autant raréfié que celui qui reſte dans la boule.

Si l'air, en rentrant dans le récipient, trouve les deux hémiſpheres rejoints de maniere qu'il ne puiſſe pas s'y introduire & s'y étendre comme dans le reſte du vaiſſeau, il les preſſe de nouveau l'un contre l'autre, par la même raiſon qu'ils avoient été d'abord attachés, & avec autant de force, s'il y a la même différence entre les deux airs, celui du dehors & celui du dedans.

APPLICATIONS.

C'EST en conſéquence des principes dont ont vient de voir les preuves,

X. LEÇON.

que le vuide se fait dans un vaisseau, par le moyen de la machine pneumatique : car en abaissant le piston d'un bout à l'autre de la pompe, on fait naître un espace sans air, dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de son élasticité; mais une masse d'air qui se partage ainsi à deux espaces, devient nécessairement plus rare dans chacun des deux; c'est pourquoi le poids de l'atmosphere produit en même temps les deux effets suivans : 1°. il attache le récipient à la platine, comme on a vû qu'il fait tenir ensemble les deux hémispheres de métal : 2°. si l'air extérieur ne peut pas rentrer par le haut de la pompe, ce même poids de l'atmosphere remonte le piston en partie, c'est-à-dire, jusqu'à ce que l'air qui est dans la pompe soit aussi dense que celui de dehors.

Ce dernier effet mérite attention : bien des gens se dégoûtent de la machine pneumatique simple, par la difficulté qu'ils trouvent à remonter le piston : on s'épargne une grande partie de cette peine quand on fait la clef du robinet de façon que l'air

puiſſe bien paſſer du dedans au-dehors de la pompe, mais non pas réciproquement : car avec cette précaution*, le piſton ſe releve comme de lui-même ; & il reſte peu de choſe à faire, ſur-tout lorſqu'on approche des derniers degrés de la raréfaction.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. pour l'ann.* 1749. p. 413.

Quant à l'adhérence du récipient à la platine, elle augmente à meſure que l'air ſe raréfie ; & cette raréfaction, à chaque coup de piſton, ſuit le rapport des capacités. Si, par exemple, celle de la pompe eſt égale à celle du récipient, au premier coup, la denſité de l'air diminue de moitié, parce que ſon volume devient double, puiſqu'il remplit deux eſpaces ſemblables à celui qu'il occupoit d'abord : au ſecond coup, il ſe raréfie encore dans la même proportion, & par conſéquent ſa denſité eſt réduite au quart, & ainſi de ſuite ; d'où il paroît qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puiſſe être, ne peut jamais évacuer parfaitement l'air du récipient, puiſque la denſité de cet air diminue toujours en proportion géométrique. En un mot, pour ne point ſe faire une idée fauſſe

X. Leçon.

du vuide qui se fait ainsi, on doit considérer le récipient comme étant toujours plein, mais d'un fluide dont la densité diminue de plus en plus, jusqu'à ce que le ressort de ses parties soit autant détendu qu'il peut l'être, dans un espace où il est peu gêné : je dis peu gêné, pour ne pas dire absolument qu'il ne l'est plus ; car il paroît qu'il l'est encore, quand on a épuisé tous les efforts de la meilleure machine pneumatique, comme on le verra par ce qui va suivre.

Que la raréfaction de l'air, dans le récipient, soit proportionnelle au rapport qu'il y a entre la capacité de ce vaisseau & celle de la pompe; c'est un fait dont il est facile de s'assurer par l'expérience. Que l'on adapte un barometre à un récipient, dont la capacité soit à celle de la pompe, par exemple, comme 2 à 1, & qu'on l'applique à la machine pneumatique de la maniere qu'on le voit par la *Fig.* 13. au premier coup de piston la densité de l'air sera diminuée d'un tiers; aussi le mercure descendra d'un tiers de sa hauteur; en partant de 27 pouces, il sera donc à 18 : au second

coup, l'air sera d'un tiers encore plus rare qu'il n'étoit après le premier coup; & le mercure descendra aussi du tiers de 18 pouces, c'est-à-dire, à 12; & toujours ainsi de la troisieme partie du dernier restant.

Ce fait étant bien constaté, on pourra donc trouver tout d'un coup le rapport des capacités entre un récipient quelconque, & la pompe à laquelle on l'applique; & si l'on connoît la grandeur absolue de l'une des deux, cette comparaison fera connoître l'autre: car premiérement, si le mercure descend au premier coup de piston du quart de sa hauteur, on peut conclure en toute sûreté, que la capacité du récipient est à celle de la pompe, comme 3 est à 1; & 2°. si l'on sait d'ailleurs que la pompe tient une pinte, on saura de cette maniere que le récipient en tient trois: cette façon de jauger les vaisseaux, pourroit trouver des applications utiles.

On peut aussi, par ce moyen, estimer les degrés de raréfaction de l'air; & il y a long-temps qu'on applique pour cet effet le barométre à la ma-

X. LEÇON.

chine pneumatique : mais comme d'ordinaire on n'a besoin de connoître au juste l'état de l'air, que quand il approche des derniers degrés de raréfaction, on peut alors se dispenser d'employer un barométre entier, qui seroit trop casuel & toujours fort embarrassant; puisque dans un air très-raréfié le mercure ne garde que quelques pouces ou quelques lignes de hauteur, ont peut regarder le reste du tuyau qui demeure vuide au-dessus comme inutile, & le supprimer : par ce moyen on a un barométre tronqué qui n'est autre chose qu'un petit siphon renversé, dont la plus longue branche que l'on emplit de mercure, est scellée hermétiquement par le haut; & que l'on attache debout sur un petit pied de plomb avec une régle de bois mince & graduée en pouces & en lignes. *Voyez la Fig.* 14.

Mais soit qu'on se serve de cette espece de jauge, soit qu'on employe le barométre entier, on ne voit jamais descendre le mercure parfaitement à son niveau; il demeure toujours élevé un peu au-dessus, s'il n'y

a point d'ailleurs quelques causes étrangeres *. On ne doit pas s'en prendre au poids de l'air qui reste dans le récipient : la colonne qui répond à celle du mercure est trop courte, & sa densité est trop diminuée pour avoir une pesanteur sensible ; mais il est naturel de penser que quand l'air est extrêmement raréfié, son ressort quoique suffisant encore pour soutenir une ligne de mercure, est déja trop affoibli pour forcer les frottemens & les vapeurs grasses qui s'opposent à son passage dans le canal étroit du robinet. C'est une petite imperfection dont les machines pneumatiques les mieux faites ne sont point exemptes ; mais ce défaut ne tire point à conséquence ; & quand elles n'ont que celui-là, on peut toujours réduire la densité de l'air à $\frac{1}{336}$ de celle qu'il a quand le barométre marque 28 pouces ; car une bonne pompe abaisse le mercure à-peu-près à une ligne de son niveau, & 28 pouces donnent 336 lignes.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. des Scienc. pour l'an.* 1741, *p.* 345.

Si l'on entend bien de quelle maniere l'air agit, soit par son poids, soit par son ressort, on expliquera facilement une infinité de faits cu-

X. LEÇON.

rieux que l'uſage des machines pneumatiques, & la facilité que l'on a acquiſe de faire le vuide, ont donné occaſion de connoître.

Une veſſie dans laquelle on enferme un peu d'air, & que l'on tient dans le vuide, ne manque pas de s'enfler, parce que ce peu d'air qu'elle contient, ſe raréfie lui-même, à meſure que celui qui l'environne perd de ſa denſité: & en pareil cas un plomb qui péſeroit 12 ou 15 livres ne l'empêcheroit pas de s'enfler, parce qu'il ne ſeroit point équivalent à la preſſion de l'air qu'on fait ceſſer d'agir autour d'elle dans le récipient.

Par la même raiſon, une bouteille de verre mince & pleine d'air que l'on a bien bouchée, creve dans le vuide, parce que rien ne fait plus équilibre au reſſort de l'air qu'elle contient, & qui fait un effort continuel pour ſe déployer.

Un œuf placé dans un gobelet ſe vuide par un fort petit trou que l'on fait en ſa partie inférieure, quand on raréfie l'air qui l'environne; il ſe remplit auſſi par le même trou quand on laiſſe rentrer l'air dans le récipient;

c'est qu'un œuf, sur-tout s'il est vieux, contient de l'air qui surnage dans l'endroit le plus élevé de la coque, à cause de sa légéreté : cet air s'étend & chasse devant lui la matiere propre de l'œuf, à mesure qu'on diminue la pression de l'air extérieur avec lequel il étoit d'abord en équilibre ; dès qu'on rend l'air dans le récipient, sa pression fait rentrer tout ce qui est sorti de la coque, & resserre l'air intérieur dans le premier espace qu'il occupoit.

Cette explication devient sensible, si dans une phiole pleine d'eau dont on plonge l'orifice dans un vase, on laisse une bulle d'air qui ne manque pas d'occuper la partie supérieure, & qu'on fasse passer le tout dans le vuide. *Voyez la Fig.* 15. Car, à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, on voit que la bulle s'étend de plus en plus (*a*), & qu'elle précipite l'eau qui est renfermée avec elle jusqu'au

(*a*) Par une pareille expérience, M. Mariotte conclut que l'air, en partant de l'état où il est à la surface de la terre, peut remplir un espace 4000 fois plus grand que celui qu'il a coutume d'occuper. *De la nature de l'Air*, p. 173.

X. LEÇON.

dessous du niveau; après quoi si l'air vient à rentrer dans le récipient, la liqueur remonte, & l'air reprend son premier volume au-dessus d'elle.

Une vieille pomme se déride dans le vuide, parce que l'air qui est sous la peau s'étend & la souleve; mais elle devient plus ridée qu'auparavant quand elle sort du vuide, parce que l'air qu'elle contenoit en se mettant au large, en est sorti en partie, & qu'il en reste d'autant moins, pour résister à la pression de l'air extérieur, ce qui fait augmenter les plis de la peau.

Il seroit superflu de rapporter ici toutes les expériences de cetre espece qui ont été faites, & qui feroient plutôt un spectacle agréable & amusant, qu'un concours de preuves nécessaires pour confirmer ou pour éclaircir les principes, que nous croyons avoir établis assez solidement : il suffit qu'on entende bien quelques-uns de ces faits; tous les autres deviennent faciles à expliquer.

MAIS après avoir fait connoître le ressort de l'air tendu par le poids de l'atmosphere, & les différens degrés

de raréfaction dont ce fluide est susceptible, en partant de l'état où il est communément à la surface de la terre, il est à propos maintenant de faire voir combien on peut augmenter sa densité & son ressort, lorsqu'on le soumet à une pression plus grande que celle de l'atmosphere.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 16. représente un vaisseau de cuivre que l'on remplit d'eau environ jusqu'aux deux tiers de sa capacité : on y joint ensuite le canal *N O*, garni d'un robinet qui s'ajuste à vis au vaisseau, & dont le bout inférieur *O*, qui est ouvert, descend à une ligne près du fond. On adapte en *N*, la petite pompte foulante *P R*, *Fig.* 17. avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air; après quoi le robinet étant fermé, on ôte la pompe pour visser en sa place un ajutage percé d'un ou de plusieurs trous.

La pompe prend l'air par un trou pratiqué en *P*, au-dessus duquel on éléve le piston; & ce même piston,

X. LEÇON.

en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, & sur lequel on a mis une soupape en-dehors, pour empêcher que l'air ne revienne dans la pompe quand on éléve de nouveau le piston.

EFFETS.

Dès que l'on ouvre le robinet, l'eau sort du vaisseau en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur de 25 ou 30 pieds, & qui baisse sur la fin.

EXPLICATIONS.

La quantité d'air qu'on force d'entrer dans le vaisseau remonte d'abord à travers l'eau, à cause de sa légéreté, & va se joindre à celui qui occupe la place *L Q*, dont il augmente d'autant la densité : cet air ainsi comprimé a une force élastique beaucoup plus grande que le poids de l'air extérieur qui résiste à l'orifice *N* du canal. Cette force se déploye sur la surface de l'eau, & la chasse par le canal qui est ouvert, avec d'autant plus de vîtesse qu'il y a de différence entre la densité de l'air qui est renfermé dans le vaisseau, & celle de l'air extérieur : & comme cet

air

air qui chasse l'eau se trouve plus au large à mesure que le vaisseau se vuide, son ressort s'affoiblit de plus en plus ; & par cette raison le jet en devient moins élevé vers la fin.

Si l'on avoit lieu de douter que l'effet dont il s'agit ici ne vînt, comme nous le disons, d'un défaut d'équilibre entre l'air du vaisseau & celui du dehors ; il seroit aisé de s'en convaincre par une expérience assez jolie, & qui mérite d'être rapportée.

On peut cimenter un tuyau de verre, qui finisse en pointe à une bouteille de même matiere, de sorte qu'elle soit en petit ce qu'est en grand le vaisseau de cuivre de l'expérience précédente : si l'on renverse cette bouteille dans un gobelet plein d'eau, & qu'on couvre le tout d'un récipient sur la platine d'une machine pneumatique, comme dans la *Fig.* 18. à mesure qu'on fera le vuide, on verra sortir de la bouteille une partie de l'air qui formera des bouillons dans l'eau du gobelet ; & ensuite lorsqu'on laissera rentrer l'air dans le récipient, sa pression poussera dans la bouteille autant d'eau qu'il en sera sorti d'air

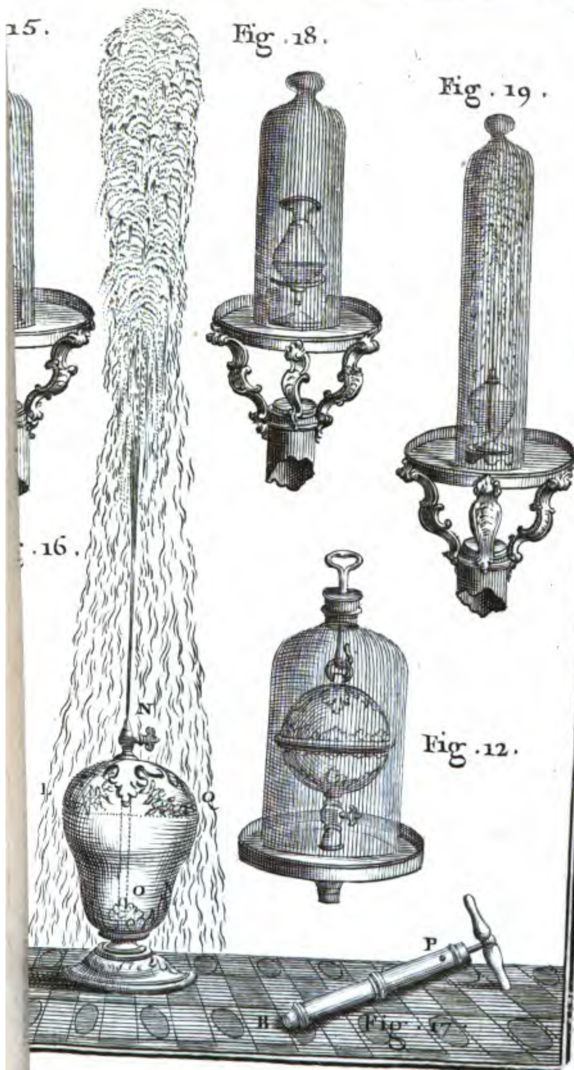
X. LEÇON.

Je ne m'arrête point à expliquer ces deux premiers effets, on doit les entendre par ce qui a été dit ci-dessus. Mais si l'on redresse la bouteille, comme dans la *Fig.* 19. & qu'on raréfie de nouveau l'air du récipient, celui qui est au-dessus de l'eau venant à se raréfier lui-même, fera naître un jet qui s'élevera d'autant plus, qu'on aura rompu davantage l'équilibre entre les deux airs. Ici ce n'est pas l'air comprimé artificiellement qui force la résistance du poids de l'atmosphere, comme dans l'expérience précédente; mais c'est le ressort naturel de ce fluide que l'on met en état d'agir, en affoiblissant celui qui lui résiste à l'orifice de la bouteille: c'est toujours un air plus fort contre un air plus foible, en un mot, de l'eau entre deux portions d'air qui ne sont plus en équilibre.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 20. représente une espece d'arquebuse composée de deux canons de métal, placés l'un dans l'au-


15.
Fig. 18.
Fig. 19.
16.
N
L
Q
O
Fig. 12.
P
B
Fig. 17.

tre, & entre lesquels il reste un espace bien fermé où l'on condense fortement l'air par le moyen d'une petite pompe foulante qui est logée dans la crosse. Il y a deux soupapes ; savoir, une au bout de la pompe, pour empêcher que l'air n'y revienne, quand on tire le piston ; & l'autre au bout du canon intérieur du côté de la culasse, où l'on a soin de placer une balle de calibre. La derniere de ces soupapes se leve par le moyen d'une détente, pour laisser passer l'air dans le petit canon, & se referme très-promptement, pour n'en faire échapper qu'une partie. Comme ces sortes d'armes ne sont pas fort en usage, j'ai fait construire celle dont je me sert, de maniere qu'on ne courût aucun risque en mettant les balles, & qu'on pût les ôter de même, sans être obligé de décharger l'air ; pour cet effet, il y a un canal ou réservoir qui contient 12 balles, & une espece de robinet que l'on tourne, pour les placer successivement dans la direction du petit canon, ou pour les déplacer si l'on ne veut pas tirer. Pour conserver à cet instrument toute la forme ex-

X. LEÇON.

térieure d'un fusil, on l'a garni d'une platine dont la batterie sert à tourner la clef du robinet, & le mouvement du chien fait lever la soupape.

EFFETS.

Le chien étant armé, dès qu'on le détend, la balle est chassée avec tant de force, qu'on peut l'ajuster assez bien à 70 pas dans un cercle d'un pied de diamétre.

Les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers: mais communément le huitieme perce encore une planche de chêne épaisse de 6 lignes, & placée à la distance de 20 ou 25 pas.

L'air & la balle, en sortant, font peu de bruit, sur-tout si le lieu où l'on est, n'est point fermé; ce n'est qu'un soufle violent qu'on entend à peine à 30 ou 40 pas,

EXPLICATIONS.

Après l'explication que j'ai donnée de l'expérience précédente, la seule préparation de celle-ci, doit suffire pour en faire entendre les effets: l'air condensé entre les deux

canons fait effort pour en sortir ; dès qu'on lui donne son passage par le petit canon, il emporte tout ce qu'il y rencontre : la balle reçoit donc une vîtesse presqu'égale à celle avec laquelle cet air commence à s'échapper. Mais comme la soupape ne demeure ouverte qu'un instant, il ne s'en échappe à chaque fois qu'autant qu'il en faut pour faire partir une balle : cependant les dernieres sont poussées plus foiblement, parce que le ressort de l'air diminue à mesure que ce qu'il en sort lui laisse plus de place pour s'étendre. Le bruit est incomparablement plus foible que celui d'une arme à feu ; parce que ni la balle, ni l'air qui la pousse, ne frappent jamais l'air extérieur avec autant de violence & de promptitude qu'une charge de poudre enflammée, dont l'explosion se fait toujours avec une vîtesse extrême. L'arquebuse à vent se fait pourtant plus entendre dans un lieu fermé, que dans un endroit découvert, parce qu'alors la masse d'air qui est frappée étant appuyée & contenue par des murailles ou autrement, fait une plus grande résistance.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

LES fuſils, piſtolets, ou cannes à vent, ſont des inſtrumens plus curieux qu'utiles; la difficulté de les conſtruire, celle de les entretenir long-temps en bon état, les rend néceſſairement plus chers, & d'un ſervice moins commode & moins ſûr que les fuſils à poudre ordinaires : le ſeul avantage qu'on y pourroit trouver, je veux dire celui de frapper ſans être entendu, pourroit devenir dangereux dans la ſociété; & c'eſt une précaution fort ſage de reſtraindre le plus qu'il eſt poſſible l'uſage de ces ſortes d'inſtrumens. Ceux qui les aiment en parlent ſouvent avec enthouſiaſme, & leur font plus d'honneur qu'ils n'en méritent, en leur attribuant des effets dont ils ne ſont pas capables : il n'eſt point vrai, par exemple, qu'ils ayent jamais autant de force qu'une arme à feu; & c'eſt une choſe fort rare que les ſoupapes tiennent l'air aſſez conſtamment, pour les garder long-temps chargés.

Si les hiſtoires qu'on fait de la *pou-*

dre blanche ont quelque réalité, on doit ſans doute les entendre dans le ſens figuré, du fuſil à vent, qui eſt capable de porter un coup aſſez meurtrier ſans faire un bruit conſidérable; car comme le bruit d'un fuſil ne vient point de la couleur de la poudre, mais qu'il eſt une ſuite néceſſaire de l'exploſion ſubite dont elle eſt capable, on doit croire que toute matiere qui ſe dilatera avec la même vîteſſe, qu'elle ſoit blanche ou noir, éclatera de même.

Quant aux fontaines artificielles où l'eau reçoit ſon movement du reſſort de l'air, on les peut varier de cent manieres différentes, plus curieuſes & plus agréables les unes que les autres: elles le ſont d'autant plus qu'on y voit l'eau s'élever au-deſſus de ſa ſource, tout au contraire des jets ordinaires, qui ſe font, comme on ſait, par une chûte d'eau, dont le réſervoir eſt plus haut. Je me contenterai d'un ſeul exemple, pour ne point m'arrêter infructueuſement à des choſes qui ſe trouvent dans tous les livres de Phyſique.

La fontaine qui eſt repréſentée par

la *Fig.* 21. porte le nom d'Hero, à qui l'on en attribue l'invention; on la construit communément de deux bassins ou boîtes de métal que l'on joint par des tuyaux de même matiere: celle-ci est faite de verre, afin qu'on en apperçoive mieux le méchanisme: la matiere & la forme extérieure sont tout-à-fait indifférentes, on les peut varier selon son goût. Pour mettre cette fontaine en jeu, j'emplis d'eau jusqu'aux trois quarts le globe *AB*, par le canal *CD*, qui est ouvert de part & d'autre; j'en mets ensuite dans le bassin *GH*, pour tenir toujours plein le tuyau *IK*, qui est ouvert d'un bout à l'autre. Cette colonne d'eau qui tend à se répandre dans le globe inférieur *EF*, charge de tout son poids la masse d'air dont il est plein: cet air ainsi comprimé s'échappe par le canal *LM*, & exerce sa pression sur la surface de l'eau qui est en *AB*; & enfin cette eau pressée par l'air, s'élance en forme de jet par le canal *CD*, au bout duquel, on met un ajutage percé, si l'on veut, de plusieurs trous pour former une gerbe d'eau.

X. Leçon.

Il

Il ſuffit de mettre d'abord un peu d'eau dans le baſſin pour emplir le tuyau *IK*; le jet qui naît auſſi-tôt, fournit aſſez pour l'entretenir plein, & l'écoulement qui ſe fait ainſi du globe *A B*, retombe dans celui d'en-bas, que l'on vuide après l'opération par une eſpece de robinet qui eſt deſſous.

On fait uſage auſſi du reſſort de l'air comprimé, pour rendre continuel l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piſton : ſuppoſons, par exemple, que la pompe aſpirante & foulante *n o p*, *Fig.* 22. ſoit enveloppée d'un vaiſſeau cylindrique de métal, qui forme autour d'elle un eſpace bien fermé *Q R S*, qui communique avec le tuyau montant *TV*.

Quand l'eau élevée par l'aſpiration ſous le piſton ſera forcée enſuite par la compreſſion de paſſer par la ſoupape qui eſt en *o*, non-ſeulement elle s'élevera dans le tuyau, mais elle montera auſſi vers *Q R*, dans l'eſpace qui eſt autour de la pompe, & en s'élevant ainſi elle tendra le reſſort de l'air qui ſera entr'elle & le fond de cette cavité. C'eſt pourquoi

X. LEÇON.

pendant qu'on remontera le piston ; pour faire une nouvelle aspiration, la réaction de cete masse d'air comprimé suppléera à la pression du piston, & fera continuer l'écoulement en *V*.

Par ce moyen on gagne certainement en vitesse ; car le tuyau *TV*, fournissant de l'eau sans interruption, il en passe une plus grande quantité dans un certain temps : mais cet avantage ne s'acquiert qu'aux dépens de la force, qui doit être plus grande de la part du moteur, puisqu'il en faut non-seulement pour porter le poids de l'eau qui pése en *T*, mais aussi pour comprimer l'air dont on veut tendre le ressort. Au reste il y a bien des cas où il est important de fournir de l'eau sans interruption ; & c'est pour cette raison que l'on construit ainsi ces petites pompes portatives si fort en usage en Angleterre, en Hollande, & depuis quelques années à Paris, avec lesquelles chaque particulier peut arrêter au moins le progrès d'un incendie naissant, en attendant des secours plus puissans.

Depuis l'invention de la machine

X. LEÇON.

pneumatique, on a fait une grande quantité d'expériences dans le vuide ou dans l'air raréfié à différens degrés : il étoit naturel de penser qu'il y en avoit beaucoup à faire aussi dans l'air condensé au-dessus de ce qu'il l'est communément, & plusieurs Physiciens ont déja mis la main à l'œuvre. On se sert, pour ces sortes d'épreuves, d'un vaisseau capable d'une grande résistance, & l'on y fait entrer de l'air à force avec une petite pompe semblable à celle dont nous avons fait usage ci-dessus pour la fontaine de compression *. Mais l'air qui passe ainsi par une pompe se charge de vapeurs grasses & humides ; & il y a bien des cas où il seroit à souhaiter qu'il fût plus pur, afin que ce qui résulte de l'expérience ne puisse être attribué à rien autre chose qu'au degré de compression qu'on lui a fait prendre, à la densité de sa propre matiere. Cette considération m'a fait imaginer une nouvelle machine, avec laquelle on pourra comprimer l'air, sans diminuer le degré de pureté qu'il a dans l'atmosphere, ou même en l'augmentant : lorsque

* Fig. 17.

X. LEÇON.

j'y aurai mis la derniere main, si elle en mérite la peine, j'en ferai part au public dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, à la suite des instrumens qui servent aux expériences de l'air, dont j'ai commencé la description.

Il paroît par les expériences de Boyle, qu'on peut, par compression, rendre le volume d'une masse d'air 13 fois plus petit qu'il n'est dans son état naturel à la surface de la terre. D'autres Philosophes ont porté depuis cette épreuve plus loin par différens procédés : celui qui paroît avoir le plus fait à cet égard, est M. Hales, qui dit *. avoir réduit l'air à la 1837e. partie de son volume ordinaire (*a*) ; surquoi M. Muschenbroek fait une réflexion qui paroît fort judicieuse. « L'air, par cette ex- » périence, est devenu, dit-il, plus

* *Stat. des végét. dans l'append. p.* 390.

(*a*) Il y a de l'obscurité dans le calcul de M. Hales ; M. de Buffon son traducteur trouve qu'il faut corriger le résultat, en comptant 1551, au lieu de 1837. Par la traduction Italienne que Mademoiselle Ardinghelli a faite de ce même ouvrage, il paroît que M. Halles a compté avoir réduit l'air à la 1598e. partie du volume qu'il a dans l'atmosphere.

» de deux fois aussi pesant que l'eau ; » ainsi comme l'eau ne peut être com- » primée, il paroît de-là que les par- » ties aëriennes doivent être d'une » nature bien différente de celle de » l'eau ; car autrement si l'air étoit de » même nature, on n'auroit pû le ré- » duire qu'à un volume 800 fois plus » petit ; il auroit donc été alors pré- cisément aussi dense que l'eau, & » il auroit aussi résisté à toutes sortes » de pressions avec une force égale à » celle qu'on remarque dans l'eau. »

M. Hales à cette occasion propose une espece de jauge, propre à mesu- rer les hauteurs de la mer ; mais com- me la regle de M. Mariotte sur la condensabilité de l'air, n'est juste que dans les degrés moyens de com- pression, & qu'on ne sait point en quelle proportion ce fluide se com- prime dans les degrés extrêmes, cette jauge ne pourroit pas avoir lieu.

M. Amontons, bien loin de révo- quer en doute cette grande conden- sabilité de l'air, l'a supposée bien avant qu'on la connût par expérien- ce, comme un principe par lequel on peut expliquer, selon lui, certains

X. LEÇON.

mouvemens inteſtins de notre globe ; car après avoir prouvé que le reſſort de l'air animé par la chaleur, eſt d'autant plus fort que ce fluide a plus de denſité, il ne doute pas que les tremblemens de terre ne puiſſent être excités par des maſſes d'air ſouterrein qui ſe dilatent, & il fait voir que la partie inférieure d'une colonne de l'atmoſphere prolongée de 18 lieues vers le centre de la terre, auroit, à cette profondeur, une denſité égale à celle du mercure *.

* Mem. de l'Académie, 1703. p 101.

LES expériences précédentes & les obſervations que nous y avons jointes, ont appris comment l'air change de denſité, & de quelle maniere ſon reſſort augmente ou diminue par une preſſion plus ou moins grande : il reſte à ſavoir maintenant, quels effets produiſent le chaud & le froid ſur ce fluide.

Ce n'eſt point ici le lieu d'examiner quelle eſt la nature du feu, ni comment il agit ſur les corps ; ces queſtions ſeront traitées dans la ſuite de cet ouvrage avec l'étendue qui leur convient ; nous dirons ſeulement par anticipation, & pour faci-

liter l'intelligence des effets que nous avons à expliquer présentement, 1°. que le froid n'est, ni un être réel, ni une qualité positive, mais seulement l'état d'un corps qui est actuellement moins chaud qu'il ne l'a été ou qu'il ne le peut être, de sorte qu'il n'y a rien dans la nature qui soit absolument froid : la glace, par exemple, n'est froide que par comparaison à l'eau dont elle est formée, ou à quelque corps plus chaud qu'elle ; c'est une vérité que nous développerons davantage dans la suite, & que nous appuyerons de toutes les preuves nécessaires. 2°. On peut considérer la chaleur, comme l'effet d'une matiere extrêmement subtile, dont l'abondance ou l'action tient écartées les unes des autres les parties propres du corps qu'elle pénétre, & leur communique une partie de son mouvement.

En se représentant la chaleur sous cette idée, on concevra facilement deux effets très-remarquables qu'elle produit dans une masse d'air, & que nous allons faire connoître par des expériences. Le premier de ces effets

X. LEÇON.

est, qu'elle en augmente le volume, c'est-à-dire, qu'une même quantité d'air est capable d'occuper plus ou moins de place, quand elle est plus ou moins échauffée; le second effet de la chaleur de l'air, est d'augmenter son ressort, à proportion de la pression dont il est chargé, de sorte qu'un même degré de chaleur appliqué à un même air doublement ou triplement condensé, lui donne un ressort double ou triple, comme on le verra par le détail des faits qui vont être rapportés.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

PARMI plusieurs tubes de verre, tels que ceux dont on fait les barométres, il en faut choisir un qui ait environ un pied ou 15 pouces de longueur, & qui soit par-tout d'un diamétre égal; ce que l'on connoîtra facilement, en faisant aller d'un bout à l'autre une petite colonne de mercure : car si elle est toujours de la même longueur dans tous les endroits du tube où elle se trouvera, c'est

une marque que la capacité eſt égale dans toutes les parties ſemblables. Enſuite il faut ſceller hermétiquement une des extrémités, & le placer ſur des charbons ardens, pour le faire chauffer juſqu'à rougir; alors on le prend avec des pinces pour plonger promptement le bout qui eſt ouvert, dans du mercure bouillant, & on laiſſe le tout refroidir. *Voyez la Fig.* 23.

Pour donner un degré de réfroidiſſement connu, on met pendant quelques minutes le bout qui eſt ſcellé, dans de la glace pilée, obſervant néanmoins que le tube ſoit dans une ſituation preſque horizontale, afin que l'air qui y reſte ne ſoit preſque point comprimé par le poids du mercure qui le tient enfermé.

EFFETS.

Le tube rougi au feu, & plongé dans le mercure, s'en remplit en partie; & quand il a été quelque temps dans la glace, la portion d'air qui eſt contenue entre le bout ſcellé & le mercure, occupe à peu-près le tiers de la longueur du tuyau.

X. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Le tuyau de verre, avant que d'être chauffé, étoit rempli d'une colonne d'air semblable à celui de l'atmosphere : les parties de cette matiere qui fait la chaleur, quelle qu'elle soit, ayant pénétré le verre, & s'étant mêlées avec l'air, ont écartée les parties propres de ce fluide, & son volume, pour cette raison, s'est augmenté considérablement ; mais comme la capacité du tuyau ne s'est point aggrandie proportionnellement, une grande partie de l'air en est sortie, & le tube est resté plein d'un peu d'air très-raréfié, & d'une grande quantité de la matiere du feu.

Ce tube ayant été plongé dans le mercure, a commencé à se refroidir, c'est-à-dire, que cette matiere étrangere qui avoit pénétré le verre pour se mêler avec l'air, s'est évaporée, ou qu'elle a perdu peu à peu la plus grande partie de son mouvement, ce qui a donné lieu aux parties de l'air de se rapprocher ; d'autant plus que le poids de l'atmosphere appuyant sur la surface du mercure, l'a obligé

d'entrer dans ce tube, & de s'y avancer, jusqu'à ce que le peu d'air qui y étoit resté, eût acquis par une diminution suffisante de son volume, assez de densité pour lui résister.

On voit donc par oette expérience, qu'une certaine quantité d'air qui a la température de la glace & qui est soumise au poids de l'atmosphere, n'a que le tiers du volume qu'elle a sous la même pression, mais dans une chaleur capable de faire rougir le verre; ou, ce qui est la même chose, que le volume de l'air dilaté par ce degré de chaleur est à celui qu'il a dans le froid de la glace, comme 3 à 1.

Par des expériences à peu-près semblables, on a trouvé que le volume de l'air lorsqu'il commence à geler, est à celui qu'il a dans la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 à 3, & qu'il se dilate environ d'un septiéme à compter depuis le froid de la glace commençante, jusqu'à nos chaleurs communes d'été, qui sont à peu-près de 25 degrés au thermométre de M. de Réaumur.

Mais dans ces sortes d'expériences, sur-tout lorsqu'on chauffe l'air consi-

X. LEÇON.

dérablement, on trouve souvent des différences bien considérables, suivant l'état actuel de l'air sur lequel on opere, ou des vaisseaux qu'on employe; car c'est un fait, que l'humidité se joignant à l'air que l'on fait chauffer, elle occasionne une dilatation, qui est quelquefois 10 ou 12 fois plus grande qu'elle ne seroit avec le même degré de chaleur, si l'on employoit un air plus sec.

D'ailleurs, comme l'air est plus dense ou plus comprimé dans un tems que dans un autre, les résultats varient aussi selon la hauteur actuelle du barométre, qu'on ne doit pas négliger de consulter en pareil cas.

APPLICATIONS.

C'EST en dilatant l'air par une chaleur violente, que l'on fait crever avec éclat ces petites empoules de verre minces, qu'on souffle à la lampe d'un émailleur, & qu'on scelle hermétiquement : l'effet en est plus sûr & plus grand, quand on y renferme une petite goutte d'eau, non-seulement parce que l'humidité procure une plus grande dilatation, mais aussi

parce que la fraîcheur de la liqueur empêche que le verre ne s'amollisse au grand feu, & ne se prête sans rompre, à l'extension du fluide renfermé. Quand on met ces pétards à la bougie pour surprendre quelqu'un, on doit craindre que les éclats de verre ne sautent aux yeux, & n'incommodent ceux qui ne sont point en garde. Les châtaignes ou les marons qui crevent sous la cendre chaude, ne sont pas si dangereux, mais c'est encore un effet qui dépend de la même cause; l'air renfermé sous l'écorce se dilate, & la fait crever, quand on n'a point pris la précaution de l'entamer; plus elle résiste, plus sa rupture est éclatante.

Dans la premiere leçon *; j'ai fait mention d'une petite cassolette de verre que j'ai supposé être en partie pleine d'une liqueur odorante; mais je n'ai point dit alors comment on s'y prend pour emplir ce petit vase, dont le col & l'orifice sont tellement étroits, qu'il n'y a pas moyen de penser à faire usage d'un entonnoir. On vient facilement à bout de cette opération, si l'on chauffe cette petite

* Prem. Sect. III. Exp. p. 27.

X. LEÇON.

bouteille, & qu'on plonge auſſi-tôt ſon ouverture dans la liqueur qu'on y veut introduire ; car en dilatant l'air par la chaleur, on en fait ſortir une grande partie, & ce qui reſte, venant enſuite à ſe condenſer à meſure qu'il ſe refroidit, laiſſe un vuide où le poids de l'atmoſphere porte la liqueur, comme il eſt arrivé à l'égard du tube qui a été employé dans l'expérience précédente.

C'eſt auſſi de cette maniere qu'on emplit les verres des thermométres, dont les tuyaux ſont ordinairement ſi menus, qu'on ne pourroit jamais y faire entrer la liqueur par tout autre moyen, à moins que d'y employer beaucoup de tems. La dilatation de l'air même, ne feroit encore qu'un moyen imparfait dans ces ſortes de cas où il s'agit d'emplir entiérement le vaiſſeau, puiſqu'une très-grande chaleur ne peut faire ſortir qu'environ les deux tiers de l'air; mais on y en joint un autre dont nous parlerons par la ſuite, & qui procure une évacuation d'air beaucoup plus complette.

A propos des thermométres, ce-

g. 24.

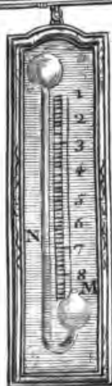
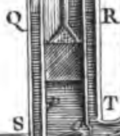


Fig. 22.



Fig. 23.







lui de Sanctorius, qui est représenté par la *Fig.* 24. produit encore ses effets en conséquence de la dilatabilité de l'air. Lorsqu'on applique la main à la boule d'en haut, l'air qu'elle contient, & qui remplit une partie du tuyau jusqu'en *N*, s'échauffe, se dilate, & fait descendre dans le réservoir d'enbas, une liqueur colorée, dont la marche devient sensible, & peut se mesurer par la graduation qui est sur la planche. Si l'air que l'on a échauffé se refroidit ensuite, il se condense, & la même liqueur poussée par le poids d'une colonne de l'atmosphere qui répond en *M*, remonte vers la boule; ce qui devient remarquable par les degrés de l'échelle qu'elle parcourt de bas en haut; nous reprendrons l'histoire de cet instrument, lorsque nous parlerons de ceux qui servent à mesurer les degrés de chaud & de froid.

Comme on fait jaillir l'eau par la compression de l'air, on peut de même employer sa dilatation pour former des fontaines qui amusent les curieux: ces principes de mouvemens auroient des applications sans fin;

X. LEÇON.

mais le recueil qu'on en pourroit faire n'entre point dans le dessein de cet ouvrage, je me borne à deux exemples par lesquels on pourra juger des autres. *A B*, *Fig.* 25. est un vase de verre étranglé & ouvert en haut & en bas, dont la patte est arrêtée sur le dessus d'une caisse *C D*, formée en piedestal : on a cimenté en *A*, un petit tuyau *E F*, qui d'une part finit en pointe comme un ajutage, & dont l'autre bout touche à quelques lignes près, le fond du vase. Un autre tuyau qui aboutit en *G*, & qui est ouvert, passe dans l'étranglement *B*, où il est cimenté, & à travers du piedestal, pour se joindre à une espece de ballon de cuivre mince, auquel il est soudé. La caisse *CD*, est garnie de plomb par dedans; & le dessus qui peut se lever, s'attache avec des crochets.

Le ballon de cuivre ne contient que de l'air; le vase *A B*, est rempli d'eau, environ jusqu'aux trois quarts de sa capacité, & l'on verse de l'eau bouillante dans la caisse *C D*, par un trou qui est pratiqué au-dessus, & dans lequel on place un entonnoir.

L'air du ballon étant échauffé par

l'eau

l'eau bouillante dans laquelle il se trouve plongé, se dilate par le canal G; & pressant par son ressort la surface de l'eau qui est dans le vase *A B*, il la fait sortir en forme de jet par le petit canal *E*. Il faut que le ballon de cuivre soit au moins deux fois aussi grand que le vase *A B*; car, comme nous l'avons dit ci-dessus, l'air ne se dilate que d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante, & l'eau ne peut pas bouillir dans la caisse qui contient le ballon.

X. LEÇON.

On pourra faire un petit jet semblable à celui qui est représenté par la *Fig.* 19. si, au lieu de placer la bouteille dans le vuide, on la plonge dans un bain d'eau bouillante : mais alors il est à propos que cette bouteille soit de métal, de crainte que la chaleur subite, ou la grande dilatation de l'air ne la fasse crever.

Si l'on veut faire un jet de feu, on se servira d'esprit-de-vin ou de bonne eau-de-vie, & l'on tiendra pendant quelques minutes l'orifice du vaisseau bouché avec le bout du doigt ou autrement, pour donner le temps à la liqueur de s'échauffer un peu ; &

avec la flamme d'une bougie on allumera le jet lorsqu'il partira. *Voyez la Fig.* 26.

On vient de voir que la chaleur augmente le volume de l'air quand il est libre de s'étendre ; on apprendra par ce qui suit, que la même cause augmente son ressort, lorsque le volume est fixé par des obstacles.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ABC, *Fig.* 27. est un tube de verre qui a un peu plus de 4 pieds de longueur, environ une ligne de diamétre intérieurement, recourbé par en bas, & terminé par une boule creuse & mince, qui a 4 ou 5 pouces de diamétre. On y fait couler du mercure, pour emplir seulement la courbure *DBC*, & de maniere que l'instrument étant debout, cette liqueur soit en équilibre avec elle-même dans les deux branches; on juge bien que pour cet effet, il faut que l'air de la boule ne soit pas plus condensé que celui de l'atmosphere au moment de l'expérience. Ensuite on ajoute du

mercure dans la partie *A D* du tuyau, jusqu'à ce qu'il y en ait une colonne de 28 pouces, à compter du niveau, c'est-à-dire, de la ligne *D C*; & l'on plonge toute la partie inférieure dans un bain d'eau bouillante, de telle sorte que la boule en soit entiérement couverte.

X. LEÇON.

EFFETS.

L'instrument étant ainsi plongé, le mercure s'éleve de 18 pouces & quelques lignes dans la branche la plus longue, ce qui fait une colonne d'environ 46 pouces, à compter du niveau du mercure dans la plus courte branche.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'il n'y a du mercure que dans la courbure du tuyau, & qu'il n'est pas plus élevé dans une branche que dans l'autre; l'air de la boule est, par son ressort, en équilibre avec le poids de l'atmosphere, qu'on suppose équivalent à 28 pouces de mercure, pendant le temps de l'expérience. Les 28 pouces de mercure qu'on ajoute ensuite dans la longue branche, dou-

X. LEÇON.

blent donc cette pression, & par conséquent la densité de l'air qui est dans la boule : si cet air ainsi comprimé & plongé dans l'eau bouillante, devient capable de porter encore 18 pouces & 8 lignes de mercure, c'est une preuve que ce degré de chaleur augmente son ressort d'un tiers; car 18 pouces 8 lignes font justement la troisieme partie de 56, somme de la double pression dont l'air est chargé avant l'immersion.

Comme les 18 pouces & 8 lignes de mercure s'élevent dans la longue branche aux dépens de celui qui est dans la plus courte, le volume de l'air échauffé augmente toujours un peu pour deux raisons; 1ment, parce que le mercure qui passe dans l'autre branche, lui laisse un peu de place pour s'étendre; 2ment, parce que le verre se dilate par la chaleur, & que la capacité de la boule, devient nécessairement un peu plus grande, comme nous le ferons voir ailleurs : c'est pourquoi la densité de l'air diminuant un peu, la force de son ressort augmenté par la chaleur, n'est pas tout-à-fait aussi grande qu'elle le

feroit, si le volume demeuroit constamment dans ses bornes; ainsi l'augmentation de la colonne de mercure au-dessus des 28 pouces ne va jamais jusqu'à 18 pouces 8 lignes; mais il ne s'en faut que d'une petite quantité, quand on se sert d'un tuyau fort menu, par comparaison à la capacité de la boule.

C'est donc un fait incontestable, que la force du ressort de l'air augmente d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante: mais quelle est la raison de ce fait, & comment arrive-t-il que les parties de l'air échauffé acquierent plus de roideur? c'est ce que l'expérience n'apprend point. On peut dire cependant, en raisonnant par des conjectures assez plausibles, que * » l'action de la chaleur consiste, com» me nous l'avons déja dit, en une » infinité de petites particules très» agitées, qui pénétrent les corps. » Quand elles entrent dans une mas» se d'air, elles en ouvrent & elles » en développent les lames spirales, » non-seulement parce que ce sont » de nouveaux corps qui se logent » dans leurs interstices; mais princi-

* *Hist. de l'Acad. des Scienc.* 170[.] p. 3.

X. LEÇON.

»palement, parce que ce sont des »corps qui se meuvent avec beau»coup de violence ; de-là vient »l'augmentation de ce volume d'air. »Que s'il est enfermé de maniere »qu'il ne se puisse étendre, les par»ticules de feu qui tendent à ouvrir »les spirales, & ne les ouvrent point, »augmentent par conséquent leur »force de ressort, qui cesseroit, si »elles s'ouvroient librement. Quand »l'air est condensé, il y a plus de »particules d'air dans un même espa»ce, & quand les particules de feu »viennent à y entrer, elles exercent »donc leur action sur un plus grand »nombre de particules d'air ; c'est»à dire qu'elles causent ou une plus »grande dilatation ou une plus gran»de augmentation de ressort. Or »quand l'air est chargé d'un plus »grand poids, il est plus condensé ; »& par conséquent, s'il ne peut »alors s'étendre, comme on le sup»pose toujours, un même degré de »chaleur augmente davantage son »ressort.»

APPLICATIONS.

En procédant comme dans l'expérience précédente, on observe que l'augmentation causée au ressort de l'air par la chaleur de l'eau bouillante, est égale au tiers du poids dont l'air est alors chargé, si l'expérience est faite dans le printemps ou dans l'automne, c'est-à-dire, dans un temps qui tienne à-peu-près le milieu entre le grand chaud & le grand froid. Ainsi l'air que nous respirons, toujours chargé d'un poids égal à celui de 28 pouces de mercure à-peu-près, étant échauffé par de l'eau bouillante, augmenteroit la force de son ressort de 9 pouces 4 lignes. Un air condensé au double, l'augmenteroit de 18 pouces 8 lignes, qui font le tiers de 56. Réciproquement un air toujours dans le même état de condensation augmentera différemment son ressort, selon les différens degrés de chaleur.

M. Amontons, à qui l'on doit cette découverte, en a fait lui-même une application utile, en construisant sur

X. LEÇON.

ce principe un thermométre d'air * qui me paroît avoir été le premier (*a*) où les degrés de chaleur se rapportassent à un terme connu : car avant lui ces sortes d'instrumens n'apprenoient rien, sinon qu'il faisoit plus froid ou plus chaud que dans un autre lieu, dans un autre temps où on les avoit observés : les thermométres comparables ont pris naissance entre ses mains ; s'il ne les a point portés au degré de perfection où ils sont aujourd'hui, on lui a du moins l'obligation de nous avoir mis sur la voie.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc* 1702. p. 161.

Un poële allumé dans une chambre, ne manque pas d'en raréfier l'air, parce que cet air n'est pas tellement renfermé, qu'il ne communique un peu avec celui du dehors, par des petits passages qui se trouvent toujours à la porte ou aux fenêtres, & qui lui laissent la liberté de s'étendre; mais l'air, quoiqu'ainsi raréfié & moins dense que l'atmosphere, se tient pourtant en équilibre avec elle, parce qu'en

(*a*) On trouve dans les Transact. Philosop. n. 197, année 1693. un mém. de M. Halley, qui a pour objet de faire un thermométre comparable en tous lieux & sans modele.

s'échauffant

s'échauffant il acquiert un de degré de ressort qui le met en état d'en soutenir la pression; la même cause qui diminue sa densité, augmente d'autant son ressort, & l'un supplée à l'autre. X. LEÇON.

Il n'en est pas de même lorsqu'on fait du feu dans une cheminée; l'air s'y raréfie, sans que son ressort augmente, parce qu'il peut s'étendre facilement; aussi-tôt l'équilibre cesse entre les deux colonnes de l'atmosphere qui répondent aux deux extrémités du tuyau; celle qui pése par en bas ayant toute sa densité, l'emporte sur l'autre qui est en partie raréfiée, & il se fait un courant d'air de bas en haut: voilà au moins ce qui arrive pour l'ordinaire; nous aurons peut-être occasion d'examiner ailleurs, quelles sont les causes qui peuvent empêcher cet effet, & déterminer l'air à descendre par la cheminée.

De tous les usages que nous faisons de l'air, il n'en est point de plus fréquent, de plus remarquable, de plus nécessaire, que celui qu'on nomme *respirer*. Environ 30 fois dans chaque minute, la poitrine s'éleve & s'abaisse, & par ce mouvement al-

X. LEÇON.

ternatif assez semblable à celui d'un soufflet qui est en jeu, elle se rétrécit & se dilate : en se dilatant, elle reçoit l'air extérieur, qui, pressé par le poids de l'atmosphere, passe dans les vésicules des poulmons ; lorsque la poitrine s'abaisse ensuite, l'air qui ne peut plus y être contenu, passe au dehors & emporte avec lui les vapeurs dont il s'est chargé : la premiere de ces deux actions se nomme *inspiration*, la derniere s'appelle *expiration*, & l'une & l'autre sont tellement nécessaires pour la conservation de la vie, qu'il n'y a aucun animal qui ne périsse infailliblement quand on lui interdit ce double mouvement, ou qu'on le prive d'un air capable de l'entretenir, comme on le verra dans les expériences suivantes.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ON couvre d'un grand récipient un pigeon ou quelqu'autre oiseau que l'on place sur la platine d'une machine pneumatique, & l'on donne plusieurs coups de piston pour raréfier l'air peu-à-peu. *Fig.* 28.

EFFETS.

Quand la densité de l'air est diminuée à-peu-près des deux tiers dans le récipient, l'oiseau tombe en convulsion ; assez souvent il se vuide par le bec, ou par la voie ordinaire des excrémens ; & si l'on continue de faire le vuide plus parfaitement, ou qu'on le laisse seulement quelques minutes en cet état, il périt sans retour ; mais lorsqu'on lui rend l'air promptement, il se rétablit en peu de temps : ce rétablissement, à dire vrai, n'est pas pour l'ordinaire, de longue durée ; je n'ai gueres vû d'oiseaux, ni même d'autres animaux, qui ayent beaucoup survécu à cette épreuve.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

DANS un grand vase de verre presque plein d'eau, on met un petit poisson vivant, & l'on couvre le tout d'un grand récipient sur la machine pneumatique. *Fig.* 29.

X. LEÇON.

Effets.

A mesure qu'on fait le vuide dans le récipient, on voit sortir des bulles d'air de dessous les écailles du poisson, par ses ouies & par sa bouche. L'animal se tient à la surface de l'eau sans pouvoir aller au fond ; il y meurt enfin, mais ce n'est qu'après plusieurs heures d'épreuve : & quand on fait rentrer l'air dans le récipient, soit avant soit après sa mort, il retombe au fond du vase, & ne peut jamais remonter à la surface de l'eau.

Explications.

La vie animale, comme on sait, consiste principalement dans le mouvement du cœur & dans la circulation du sang. Or si l'on en croit les plus habiles Anatomistes, & si l'on en juge par leurs observations & par leurs expériences, la respiration entretient l'un & l'autre ; soit parce que l'air qui est poussé dans les poulmons par le poids de l'atmosphere, sert d'antagoniste aux muscles que la nature employe pour l'inspiration, & que pressant les vaisseaux où le sang a été por-

té par la contraction du cœur, il le déterminé à refluer vers cette source, pour aller ensuite aux autres parties du corps; soit parce que l'air divisé & filtré, pour ainsi dire, se mêle avec le sang & circule avec lui en l'animant par son ressort *: l'animal qui ne peut pas respirer, ne peut donc pas continuer de vivre.

X. LEÇON.

* M. Méry. Mém. de l'Acad. des Sc. 1700. p. 211

L'oiseau que l'on a placé dans un air considérablement raréfié, ne respire plus; parce que cet air ne participe plus au poids de l'atmosphere, dont il est séparé, & que son ressort, comme sa densité, est beaucoup diminué. C'est envain que la poitrine se dilate; le fluide qui a coutume de s'y introduire n'en a plus la force; ainsi le mouvement alternatif que l'on nomme respiration, ne peut plus avoir lieu, puisque des deux puissances qui le produisent, on en supprime, ou on en affoiblit une, qui est le poids ou le ressort de l'air.

Une autre cause qui fait périr un animal dans le vuide, c'est que l'air qu'il a dans les différentes capacités & dans les fluides mêmes de son corps, se raréfie fortement, lorsqu'il n'est plus

X. LEÇON.

contenu par la pression de l'air extérieur; car toutes ces portions d'air dilaté, acquérant un volume beaucoup plus grand que celui qu'elles ont dans l'état naturel, compriment & rompent souvent les parties où elles se trouvent engagées, ou bien elles font des obstructions dans les vaisseaux, & arrêtent le cours des humeurs. C'est pour cela sans doute que les animaux ont ordinairement des nausées, ou qu'ils se vuident lorsqu'on les applique à ces sortes d'épreuves; car l'air des intestins ou de l'estomac venant à s'étendre, chasse devant lui les alimens non digérés, ou les excrémens qui lui ferment le passage.

On ne peut pas douter qu'il n'y ait de l'air dans le corps des animaux, & même de ceux que la nature a destinés à vivre dans l'eau, puisqu'on le voit sortir du poisson à mesure qu'on fait le vuide dans le récipient. Il y a toute apparence que les aquatiques & les amphibies respirent différemment des autres animaux qui vivent continuellement dans l'air, puisque la privation de cet élément ne les fait pas mourir aussi promptement; mais on

doit croire que ce qui accélere le plus leur perte dans le vuide, c'eſt l'air intérieur qui ſe dilate & qui met tout en déſordre. Cette double véſicule qu'on trouve dans les carpes & dans la plupart des autres poiſſons, ſe diſtend en pareil cas & fait enfler le corps de l'animal; c'eſt pourquoi tant qu'il eſt dans le vuide, il ſurnage malgré lui, étant plus léger alors que le volume d'eau auquel il répond : mais il devient plus petit & ſe précipite involontairement, quand on fait rentrer l'air dans le récipient; parce que la véſicule en ſe dilatant s'eſt vuidée en partie, & que le reſte de l'air qu'elle contient, lorſqu'il reprend une denſité égale à celle de l'atmoſphere, n'eſt plus capable de la remplir, comme il eſt facile de s'en aſſurer en ouvrant le corps du poiſſon.

APPLICATIONS.

PAR l'explication que je viens de donner des deux expériencs précédentes, on voit que les animaux placés dans le vuide y périſſent par deux raiſons principales : premiérement, par défaut de reſpiration; ſeconde-

X. LEÇON.

ment, par la dilatation de l'air qui se trouve renfermé dans leurs corps. Comme les genres & les especes different non-seulement par la figure & par les mœurs, mais encore par la conformation, le nombre & la grandeur des parties internes, il est vraisemblable que tout ce qui respire, ne respire point de la même façon; que dans certains animaux la respiration doit être abondante & fréquente; & que dans d'autres au contraire elle peut se faire plus lentement & avec un air plus rare, au moins pour un certain temps. Voilà, sans doute, pourquoi de tant d'animaux d'especes différentes, éprouvés dans le vuide par Boyle, l'Académie de Florence, Derham, Muschenbroek, & tant d'autres Physiciens, les uns meurent dans l'espace de 30 ou de 40 secondes, comme presque tous les oiseaux, les chiens, les chats, les lapins, les souris, &c. pendant que d'autres soutiennent un vuide de plusieurs heures, comme les poissons, la plûpart des reptiles, & nommément la grenouille, qui résiste quelquefois à cette épreuve pendant un

jour entier sans mourir. Car puisque ces derniers animaux vivent commodément dans l'eau, on ne peut pas dire qu'ils ayent besoin de respirer à la maniere des animaux terrestres; & peut-être soutiendroient-ils le vuide plus long-tems qu'ils ne font, s'ils n'avoient à y souffrir qu'une simple privation d'air, & si celui qu'ils ont au-dedans du corps ne dérangeoit rien à l'économie des parties, par sa grande dilatation. Ce qui me porte à penser ainsi, c'est qu'on les voit s'enfler considérablement, & qu'après la mort, on leur trouve toujours les poulmons flasques & plus pesans que l'eau.

Une autre raison qu'on pourroit alléguer encore en faveur de cette opinion, c'est que presque tous les insectes, ceux même qui vivent en plein air, les papillons, les mouches, les scarabées souffrent, sans périr, une privation d'air qui va quelquefois à plusieurs jours, sans doute parce que n'ayant dans le corps que de très-petits volumes d'air qui se dilatent peu, le vuide ne peut leur être mortel, que par le seul défaut de

X. LEÇON.

respiration ; & ces petits animaux vraisemblablement peuvent être long-temps sans respirer, au moins l'air grossier.

Convenons cependant que l'état naturel de tous ces animaux est de pouvoir prendre l'air, & que c'est leur faire violence que de les en priver. On voit le poisson s'élancer de lui-même à la surface des étangs, pour en prendre de nouveau & pour rejetter celui qu'il a pris précédemment. Les Naturalistes conviennent qu'il sçait filtrer & s'approprier celui qui est disséminé dans l'eau ; & quand il meurt sous la glace, on a raison de croire que c'est parce que l'air lui a manqué, puisqu'on évite cet accident quand on a soin de rompre les glaçons. Enfin le poisson vit beaucoup plus long-temps dans l'air & sans eau, qu'il ne peut faire en pleine eau s'il manque d'air.

En conséquence de ce dernier fait qui est incontestable, en voici un autre que je trouve dans de bons Auteurs, & que j'ai appris moi-même en Hollande & en Angleterre, de plusieurs personnes que je ne puis pas

ſoupçonner d'avoir voulu m'en impoſer. On ſuſpend, dit-on, des carpes dans des petits filets ſur de la mouſſe humide & dans un lieu frais, & pendant deux ou trois ſemaines on les engraiſſe avec de la mie de pain trempée dans du lait. S'il n'y a rien à rabattre de ce récit (*a*), il eſt évident que l'air eſt plus néceſſaire que l'eau au poiſſon même, & qu'on peut mettre ce principe à profit.

Quelques Auteurs ont obſervé, que les chiens, les chats, les lapins, &c. nouveaux-nés, ne meurent pas dans le vuide auſſi promptement que les adultes des mêmes eſpeces; c'eſt que la reſpiration eſt d'une néceſſité plus preſſante pour ceux-ci que pour les premiers. Pour en ſentir la différence, il faut ſavoir, qu'avant la naiſſance, il n'y a qu'une circulation pour la mere & pour le fœtus. Dans celui-

(*a*) J'ai tenté deux fois cette expérience ſans ſuccès; mais je n'en ai pu rien conclure de certain, parce que les carpes que j'ai employées, avoient été fatiguées par un aſſez long tranſport, ou aſſez mal-traitées depuis qu'elles étoient ſorties de l'eau. Je n'ai jamais pu leur faire rien avaler: elles ſont mortes en moins de 24 heures.

X. Leçon.

ci qui ne respire point encore, le sang va du ventricule droit au ventricule gauche du cœur, par une communication que les Anatomistes ont nommée le *trou ovale*, & sans être obligé de passer par le poulmon, où l'air extérieur n'a point encore d'accès : mais après la naissance, ce passage se ferme peu-à-peu, & la respiration devient nécessaire, pour enfler les vésicules du poulmon, & pour faire circuler le sang dans le nouvel animal séparé de sa mere, de la même façon que la respiration de celle-ci le faisoit circuler précédemment dans l'un & dans l'autre. C'est pourquoi l'on reconnoît communément si un enfant est mort avant que de naître, ou s'il a respiré avant que de mourir, en mettant son poulmon dans l'eau; car s'il surnage, c'est une marque qu'il y a de l'air, & que l'enfant a respiré, ce qu'il n'a pû faire qu'après sa naissance. C'est une épreuve que la Justice mettoit en usage, lorsqu'il s'agissoit de juger une mere qui étoit accusée d'avoir tué son enfant, & qui se défendoit de ce crime, en soutenant qu'il étoit venu mort au monde. Mais on a observé

X. LEÇON.

depuis, qu'en certains cas le poulmon d'un foetus peut surnager; & que celui d'un enfant nouveau-né peut aller au fond de l'eau; ce qui rend cette expérience insuffisante pour établir un jugement de cette importance.

Plusieurs Anatomistes * prétendent avoir trouvé le trou ovale encore ouvert dans des adultes. Cette observation, qui n'est presque (*a*) point contestée, peut expliquer certains faits dont le récit révolte les esprits les plus crédules. Telle est l'histoire du Jardinier (*b*) de Troningholm de Suede, qu'on dit avoir été 16 heures perdu dans l'eau & sous la glace, sans avoir été noyé; telle est celle d'un certain Laurent Jonas qui y resta, dit-on, sept semaines sans mourir;

* *Hist. de l'Académie des Sciences.* 1700, *p.* 40.

(*a*) Chefelden célébre Anatomiste de Londres, prétend que tous ceux qui ont cru voir le trou ovale dans les adultes, se sont trompés en prenant pour ce trou l'ouverture des veines coronaires. *Derham. Theol. Phys. liv.* 4e *chap.* 7. *rem.* 15.

(*b*) Une personne du pays, distinguée par sa naissance & par un goût décidé pour les Sciences, m'a assuré que ce fait passe constamment pour vrai en Suede; mais que c'est à Stromsholm, séjour ordinaire de la Cour, & non à Troningholm, qu'il est arrivé.

X. LEÇON.

l'une & l'autre sont rapportées par Pecklin * sur des témoignages qui paroissent autentiques. Je sens par moi-même qu'on aura bien de la peine à s'y rendre ; mais pourtant, s'il est vrai qu'on puisse vivre autant que le sang peut circuler, que la circulation se fasse librement sans respirer l'air, dans ceux qui ont le trou ovale encore ouvert, & que ce trou aït été observé dans des adultes, seroit-il impossible qu'il se rencontrât de ces faits extraordinaires ?

* *De aëriis & alim. conf. c. 10.*

On croira plus facilement ce que l'on raconte de plusieurs personnes qui ont été étranglées par ordre de la Justice, ou autrement, & qui ont été trouvées vivantes, après avoir été détachées de la potence : ces exemples se rencontrent plus fréquemment, & plusieurs sont suffisamment attestés. Cependant il paroît qu'il y a plus de causes de mort dans les pendus que dans les noyés ; la ligature du col qui contraint les vaisseaux, les efforts qui se font sur cette partie, tant par le poids du corps que par celui qu'on y ajoute, les coups & les différens mouvemens que l'e-

xécuteur employe pour hâter le supplice : si malgré tout cela il se trouve encore de temps en temps quelques-uns de ces malheureux qui reprennent vie (*a*), je serois tenté de croire qu'on pourroit sauver beaucoup de noyés, qui ont été peu de temps dans l'eau, que l'on juge morts sur des signes assez souvent équivoques, ou que l'on acheve de faire périr par des secours mal entendus. J'appelle secours mal entendus, de les tenir suspendus, la tête en bas, & souvent dans un air froid ; il seroit mieux d'essayer à ranimer le sang par une chaleur douce, par des liqueurs spiritueuses, par des frictions, & de les tenir dans une situation naturelle & commode (*b*) ; car ils ont avalé peu

(*a*) Ces sortes de suppliciés échappent à la mort, ou parce que l'étranglement a trop peu duré, pour éteindre entiérement en eux le principe de la vie, ou parce que la corde, au lieu de serrer les anneaux de la trachée, a porté son effort sur le cartilage *Scutiforme*, qu'on nomme vulgairement le nœud de la gorge, & qui est capable d'une très-grande résistance dans certains sujets ; au moyen de quoi la respiration n'a point été entiérement interrompue.

(*b*) On prétend que la cendre de bois neuf

X. LEÇON.

d'eau, & ce qu'ils en ont dans l'estomac n'est pas le mal le plus pressant ou le plus réel.

Si la respiration manque aux animaux dans le vuide, ou dans un air considérablement raréfié, elle devient pénible aussi dans un air condensé au-delà de son état ordinaire. MM. Derham & Muschenbroek ont mis des oiseaux & des poissons dans un air deux ou trois fois plus condensé qu'il ne l'est communément par le poids de l'atmosphere, & ces animaux pour la plûpart y ont péri en 5 ou 6 heures: on ne doit pas douter qu'on ne leur ait fait violence, en rompant ainsi l'équilibre entre l'air intérieur de leur corps, & celui qui les environnoit; & qu'ils n'eussent eû beaucoup plus à souffrir encore, s'ils eussent été mis dans un air excessivement comprimé. Mais on ne croira pas qu'une double ou une triple condensation ait été la principale cause de leur mort, lorsqu'on saura, que des animaux des mêmes especes ne vivent gueres plus long-temps dans

appliquée pendant quelque temps sur tout le corps du noyé, peut le rappeller à la vie.

un air qui a la densité & la températu-re de l'atmosphere, s'il lui manque seulement d'être renouvellé. X. LEÇON.

C'est un fait constaté par l'expérience, & que les Physiciens expliquent de diverses façons. Les uns prétendent (& c'est le plus grand nombre) que l'air qui a été respiré, est chargé des vapeurs & des exhalaisons, dont il a purgé le viscere; & qu'il ne peut plus être respiré en cet état, sans causer une surabondance de ces parties nuisibles qui arrêtent la circulation, & qui suffoquent l'animal. Les autres pensant avec raison que l'air n'est propre à la respiration qu'autant qu'il est élastique, croyent qu'il perd une grande partie de son ressort, par le séjour qu'il fait dans les poulmons, ou dans les vaisseaux sanguins; & qu'ainsi, pour le respirer sainement, il faut, ou qu'il se renouvelle, ou qu'il soit purgé des parties hétérogènes dont il paroît visiblement chargé au moment de l'expiration. On peut consulter à ce sujet tout ce qui est rapporté par M. Hales dans sa *Statique des végétaux*, c. 6 *Exp.* 107. & *suiv.* où l'on trouvera des

observations fort curieuses.

X. LEÇON.

Quoi qu'il en soit, c'est agir prudemment que de ne se point exposer dans un air que l'on soupçonne d'être infecté d'une grande quantité d'exhalaisons, sur-tout de celles qui sont sulfureuses. Les cloaques qui ont été longt-temps fermés, les souterreins qui avoisinent les minieres, les lieux clos où l'on a tenu du charbon allumé, les celliers mêmes dans lesquels fermentent les vins nouveaux ou la bierre, sont extrêmement dangereux *. On en peut juger par cette fameuse grotte d'Italie, dans laquelle un chien, ou tout autre animal, ne peut demeurer une minute sans être suffoqué ; par cet accident aussi funeste que mémorable *, arrivé à Chartres dans la cave d'un Boulanger, où sept personnes furent étouffées subitement l'une après l'autre, par la vapeur de la braise ; enfin par quantité d'ouvriers qu'on sait avoir péri de cette maniere, soit en fouillant des fosses, soit en nettoyant de vieux puits. L'usage des poëles même peut être pernicieux, sur-tout dans les commencemens, lorsqu'ils sont de fer ou de cuivre,

* *Camerarius, in Ep. Taurinensibus.*

* *Hist. de l'Acad. des Scienc. 1710. page 71.*

& qu'on les chauffe fortement ; ce dernier métal sur-tout peut jetter dans l'air des exhalaisons très-nuisibles.

Non-seulement on doit éviter cet air empoisonné, dont les effets sont si prompts ; mais la prudence pourroit aller jusqu'à purifier, ou renouveller au moins, celui qu'on est obligé de respirer. Pourquoi, par exemple, ne prendroit-on pas cette peine pour des vaisseaux, pour des salles de spéctacles, pour des mines, pour des Hôpitaux? Plusieurs Physiciens fort habiles * en ont fourni les moyens, & les épreuves en ont été faites avec succès. Je crois même que des personnes qui restent 9 ou 10 heures au lit, devroient avoir l'attention de n'y être point enveloppées de rideaux fort épais, & qui se ferment fort exactement ; car il n'est pas sain de demeurer si long-temps dans une petite masse d'air qui ne se renouvelle point assez, & dont la pureté ne sauroit manquer d'être fort altérée, par la transpiration insensible & par la respiration,

* *Désaguilliers, Transf. Phil. n. 407. Hales, descript. du Ventilateur, par le moyen duquel, &c. traduit en Fr. par M. Demours.*

Si l'on pouvoit purifier l'air avec autant de facilité qu'on le peut re-

X. LEÇON.

nouveller, il n'eſt pas douteux qu'on ne le dût faire avec ſoin dans bien des occaſions; & nous ſerions trop heureux, s'il ne s'agiſſoit que d'en faire connoître l'utilité. Jugeons de notre élément, comme nous le faiſons de celui des poiſſons; ſi l'eau d'un vivier ou d'un étang devient infecte, ne voit-on pas languir le poiſſon; & la mortalité ne s'y met-elle pas en peu de temps; A quoi devons-nous attribuer les maladies épidémiques, dont les ſymptômes ſont les mêmes dans des ſujets qui vivent tout différemment les uns des autres, dans un enfant, dans un adulte, dans un Prince, dans un Payſan, &c. eſt-ce à la nourriture, au genre de vie, à l'âge, au tempérament? n'eſt-ce pas plutôt aux qualités actuelles de l'air qu'ils reſpirent tous en commun? ne voit-on pas ces ſortes de contagions ſe communiquer ſouvent, ou ſe diſſiper par les vents, ou par d'autres changemens qui arrivent dans l'atmoſphere?

Boyle * fait mention d'une liqueur très-volatile, dont Drebell ſe ſervoit, dit-on, pour purifier l'air dans une eſ-

* *Exp. phyſico-mechan. Exp.* 41.

pece de vaiſſeau qu'il avoit imaginé pour aller entre deux eaux ; (car on ſavoit déja, qu'un air qui avoit été reſpiré, devenoit, en peu de temps, incapable de l'être davantage :) on trouve des Auteurs * qui diſent avoir vû le vaiſſeau, qui l'ont même imité avec peu de ſuccès, & dont le témoignage ne nous fait point regretter cette invention. Mais pour la liqueur, qui mériteroit bien des éloges, & dont on pourroit tirer de grands avantages ſi le ſecret n'en étoit point mort avec ſon auteur, perſonne ne dit l'avoir vûe, & je crois qu'il eſt très-permis de douter au moins de cette merveille.

* *Papin ; Rec. de diverſes pieces, &c. édition. 1695.*

Si l'on peut ſe flatter de purger l'air, je penſe qu'on n'y parviendra que par une ſorte de filtration, en l'obligeant de paſſer par quelque matiere, où il puiſſe dépoſer ce qu'il contient d'étranger : mais il faut pour cet effet que ce dont on veut le dépouiller, ſoit de nature à s'attacher plus fortement au filtre qu'aux parties de l'air ; la connoiſſance de cette analogie doit être le fruit d'un grand nombre d'expériences délicates, &

X. LEÇON.

d'obſervations bien méditées ; mais l'objet eſt important, & pluſieurs habiles maîtres * ont déja fait à cet égard quelques eſſais qui flattent nos eſpérances : c'eſt en cédant à cette conſidération, que j'ai hazardé de propoſer un inſtrument pour laver l'air, & pour recueillir les matieres dont il peut être chargé. *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1741 page 335 & ſuiv.*

* *Hales*, *Stat. des végét. chap. 6. exp.* 116. *Muſchenbroek, orat. de meth. inſtit. Exp. Phyſ. p.* 28.

Il y auroit encore bien des choſes à dire des propriétés de l'air, & de ſes uſages par rapport à la reſpiration, & à la maniere dont il influe ſur la vie des animaux ; mais ces détails quelqu'intéreſſans qu'ils ſoient, ne peuvent avoir lieu que dans un traité, où l'on auroit entrepris de faire entrer tout ce qui eſt contenu touchant ce fluide : les bornes que je me ſuis preſcrites dans ces Leçons, ne me permettant pas de m'étendre davantage ſur cette partie, je paſſe à une autre propriété de l'air, qui eſt encore fort importante, par les applications qu'on en peut faire. Je vais prouver par des faits, que les matieres les plus combuſtibles ne peuvent

s'enflammer que dans un air libre; & que quand elles le font, elles s'éteignent promptement dans le vuide.

XII. EXPERIENCE.

Preparation.

Il faut placer sur la platine d'une machine pneumatique, & sous un grand récipient, une grosse chandelle bien allumée, *Fig.* 30. & faire agir la pompe.

Effets.

A mesure qu'on raréfie l'air, la flamme diminue de volume, & après quelques coups de piston, elle s'éteint tout-à-fait.

XIII. EXPERIENCE.

Preparation.

A, *B*, *Fig.* 31. sont deux pierres à fusil portées par deux petits montans à ressort, qui sont établis sur la platine d'une machine pneumatique; par le moyen d'un petit chassis de métal, qui est fixé au centre, & dans lequel ils glissent pour s'approcher plus ou

X. LEÇON.

moins l'un de l'autre ; *C*, eſt une de ces boîtes à cuirs, dont nous avons parlé ci-deſſus, & dont la tige eſt engagée d'une part dans l'axe de la poulie *D*, & porte à ſon autre extrémité, & entre les deux pierres, une rondelle d'acier trempé, imparfaitement arrondie. Lorſqu'on fait tourner la grande roue *EF*, le mouvement ſe communique par les poulies de renvoi *G*, *G*, *D*, juſqu'en *C*, & ſe tranſmet par la tige dans le récipient ; & la rondelle d'acier frottant alors rudement contre les deux pierres qui ſont tranchantes, fait l'office d'un véritable briquet.

EFFETS.

Tant que l'air du récipient eſt dans ſon état naturel, le frottement de l'acier contre les pierres fait naître un grand nombre d'étincelles très-brillantes : à meſure que l'air ſe raréfie par l'action de la pompe, ces étincelles deviennent moins nombreuſes & moins éclatantes ; lorſque l'air arrive à ſes derniers degrés de raréfaction, à peine en apperçoit-on quelques-unes, qui n'ont plus alors qu'une couleur

rouge



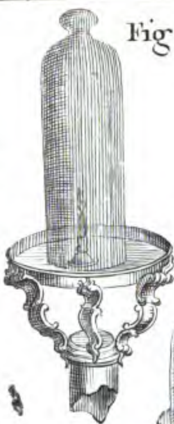


Fig. 30.



Fig. 25.

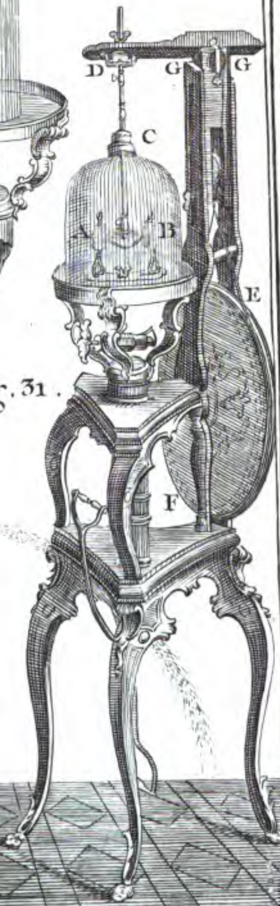


Fig. 31.

rouge & morne : enfin quand le vuide est aussi parfait qu'il peut l'être, il n'en paroît plus aucune ; mais elles recommencent à paroître aussi-tôt que l'on a rendu l'air dans le récipienr.

XIV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

DANS un grand récipient, *Fig.* 32. garni comme le précédent d'une boîte à cuirs, on établit de la même maniere que les pierres à fusil, un petit chassis de métal, dans lequel se meut sur deux pivots la petite phiole de verre *H* ; on met dans ce petit vaisseau quelques grains de poudre à canon ; & au centre de la platine, sur un morceau de tuile ou de brique, un vase fort épais de cuivre rouge *K*, que l'on a fait chauffer jusqu'à rougir : on fait le vuide promptement ; & lorsque l'air est extrêmement raréfié, en abaissant la tige *I*, on appuie sur le goulot de la phiole qui s'incline, & qui jette la poudre dans le vase ardent.

X. Leçon.

Effets.

La poudre, au lieu de s'enflammer & de faire son explosion ordinaire, se dissipe en fumée & sans éclat ; ou bien, il ne paroît tout au plus qu'une petite flamme bleue & rampante,

Explications.

C'est une opinion reçûe en Physique, que la flamme consiste dans un mouvement de vibration imprimé aux parties du corps combustible, qui se dissipent sous la forme d'un fluide extrêmement subtile. Si l'on admet cette supposition, que nous examinerons, lorsque nous traiterons de la nature du feu ; on conçoit assez aisément pourquoi les corps ne s'enflamment point dans le vuide, & pourquoi la flamme s'y éteint ; car un mouvement de vibration ne peut durer que dans un milieu à ressort, capable d'une réaction qui l'entretienne : ainsi la chandelle s'éteint peu-à-peu, à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, parce que le ressort du fluide environnant diminue comme sa densité, & que les vibrations de la

flamme n'éprouvent plus assez de réaction de sa part. Par la même raison, la poudre que l'on fait tomber sur du métal ardent, ne produit que de la fumée dans le vuide, ou tout au plus une flame très-foible, qui périt dans l'instant.

X. LEÇON.

Il est à propos d'avertir cependant, que cette derniere épreuve ne doit se faire qu'avec quelques grains de poudre seulement, comme on l'a marqué dans l'article de la préparation; car le soufre & le salpêtre brûlés produisent dans le récipient de l'air, ou un fluide qui est élastique comme lui; & si l'on en employoit une certaine quantité, ce qui tomberoit à la fin dans le vase ardent, seroit infailliblement enflammé, & pourroit éclater avec danger.

Les étincelles qui naissent du choc de l'acier contre des cailloux tranchans, sont des particules du métal qui se détachent de la masse par la violence du coup, qui s'échauffent jusqu'à rougir & le plus souvent jusqu'à se fondre; c'est ce dont il est facile de se convaincre, en les recevant sur un papier blanc que l'on examine ensuite avec un microscope; car tous

X. LEÇON.

ces petits morceaux d'acier paroiſſent comme autant de petites boules fort liſſes, ce qui dénote viſiblement qu'ils ont été mis en fuſion, & qu'ils ſe ſont arrondis, comme toutes les matieres liquides qui nagent en petite quantité dans un milieu fluide.

On peut remarquer que pluſieurs de ces étincelles éclatent en l'air, & repréſentent un feu beaucoup plus brillant que les autres; ce ſont celles qui paſſent la fuſion, & qui s'enflamment juſqu'à diſſipation de parties; on les diſtingue aiſément ſur le papier par leur couleur qui eſt plus brune, & parce qu'elles ſont friables comme le mâche-fer.

M. Muſchenbroek, après Boyle, M. Hughens & pluſieurs autres Phyſiciens, a fait une grande quantité d'épreuves ſur l'inflammation des corps dans le vuide, dont on peut voir le détail dans ſes commentaires ſur les expériences de Florence, *page* 74 *& ſuiv.* Cette lecture ne peut être que fort utile à ceux qui s'appliquent à la Phyſique; & c'eſt avec regret que je me diſpenſe de les rapporter ici.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

PUISQUE la flamme ne peut naître ni s'entretenir que dans un milieu à ressort, on ne doit point être surpris qu'une bougie allumée ou un charbon ardent s'éteigne [p], lorsqu'on le plonge dans des liqueurs les plus inflammables, comme l'esprit-de-vin & les huiles; & que l'une ou l'autre mette tout d'un coup le feu à ces mêmes liqueurs, lorsqu'elles sont réduites en vapeurs. Car dans ce dernier état elles sont mêlées avec l'air, & elles forment avec lui un fluide élastique, capable, par conséquent, d'une réaction telle qu'il la faut pour entretenir l'inflammation; au lieu que dans l'état de liqueurs elles sont si peu compressibles, qu'on doit les regarder comme dépourvûes du degré d'élasticité nécessaire.

Le feu brûle beaucoup mieux, & le bois se consume bien plus promptement pendant les grands froids qu'en tout autre temps, apparemment parce que l'air est plus dense, & qu'il a plus de ressort; & au contraire on remarque qu'un réchaud plein de

X. LEÇON.

charbon allumé s'éteint bien-tôt, s'il eſt expoſé aux rayons du ſoleil, ſurtout pendant l'été,

Que doit-on croire de ces lampes ſépulchrales des anciens, leſquelles, ſi l'on en croit quelques Auteurs, brûloient pendant pluſieurs ſiecles ſans s'éteindre? Un feu qui ne conſume point ſon aliment, & qui s'entretient dans des lieux où l'air ne ſe renouvelle point, pleins de vapeurs groſſieres, eſt une merveille dont il faudroit conſtater l'exiſtence, par des preuves plus poſitives que toutes celles qu'on en a; avant que de faire les frais d'une explication qu'on auroit bien de la peine à rendre plauſible. Car ce n'eſt point aſſez qu'il y ait de l'air autour des matieres enflammées, pour entretenir le feu, il faut encore que cet air ſoit libre & qu'il ait une certaine pureté: voilà pourquoi les incendies ceſſent ordinairement, quand ils commencent dans des lieux qu'on peut boucher de toutes parts, ſi d'ailleurs leurs parois ſont capables de réſiſter aux efforts de l'air & des vapeurs qui ſe dilatent au-dedans.

Quoiqu'un air renouvellé entre-

tienne la flamme & anime l'embrasement, cependant le souffle de la bouche ou le vent éteint une bougie, parce qu'il dissipe les parties de la flamme, & qu'il sépare le feu de son aliment : toutes les fois que cette dissipation n'a point lieu, l'inflammation, bien loin de cesser, ne fait qu'augmenter. X. LEÇON.

Je dois avertir aussi, qu'on ne doit tenter les inflammations dans le vuide qu'avec beaucoup de précautions, sur-tout celles qui doivent naître de la fermentation : car comme les liqueurs propres à cet effet sont d'autant plus actives qu'elles sont moins gênées par le poids de l'atmosphere, leur explosion doit être naturellement plus violente dans le vuide, qu'ailleurs ; soit qu'elles produisent, en fermentant, une grande quantité d'air dont le ressort se déploye à l'instant, comme l'ont pensé quelques Physiciens * ; soit qu'étant réduites en vapeurs, elles se dilatent elles-mêmes par leur propre embrasement. Quoique je ne désapprouve pas la premiere de ces deux explications, je crois pourtant qu'on trouvera plus de vraisemblance dans la derniere,

* *Slare, dans les leç. de Phys. de Cotes, 16. leçon.*

X. LEÇON.

quand j'aurai fait voir ailleurs les prodigieux efforts dont les vapeurs dilatées ſont capables.

JUSQUES ici nous avons parcouru les principales propriétés de l'air qui environne les corps : mais ce fluide ſe rencontre auſſi dans leur intérieur ; il en remplit les vuides ; il entre, pour ainſi dire, dans leur compoſition, comme l'eau d'un étang ou d'une riviere pénétre dans le bois, dans les pierres qui y ſont plongées, & tient une place dans les concrétions qui s'y forment.

Dans quelque état que ſoient les corps, on y trouve de l'air : les liqueurs en contiennent beaucoup, les corps ſolides, pour la plupart, en ont encore davantage; & ce qu'il y a d'admirable, c'eſt que, dans ceux-ci ſur-tout, la quantité d'air qui s'y trouve renfermé ſurpaſſe aſſez ſouvent 100 ou 150 fois leur volume, quand il eſt dégagé, & qu'il n'eſt plus retenu que par le poids de l'atmoſphere.

On peut ôter l'air d'un corps de quatre manieres différentes ; 1ment, en le tenant quelque temps dans le vuide ; 2ment, en le faiſant chauffer

fortement ; 3ment, en le divisant & en désunissant ses parties, par voie de fermentation, de dissolution, ou de distillation ; 4ment enfin, en les faisant passer de l'état de liquidité à celui de solidité, comme lorsqu'on fait geler de l'eau. Les deux premiers moyens, & peut-être le quatrieme, ne dégagent que les parties les plus grossieres de l'air, je veux dire, celui qui est dans les pores les plus ouverts & qui a une disposition plus prochaine à s'étendre & à se dilater. Par le troisiéme procédé, on sépare les moindres parties, celles qu'une extrême ténuité rend presqu'inflexibles, & qui ne deviennent sensiblement élastiques, que quand elles se sont réunies plusieurs ensemble, pour former des globules un peu plus grossiers : car on peut croire que les petites lames qui composent une masse d'air, ne sont pas des corps simples, mais des petits composés d'élémens plus courts, & qu'elles sont d'autant plus roides qu'elles sont plus divisées, comme une lame d'acier perd de sa flexibilité à mesure qu'on diminue sa longueur. Il peut se faire que

X. LEÇON.

l'air qui entre dans la composition des mixtes, & qui concourt à la formation de leurs parties intégrantes, soit divisé jusqu'à ses particules élémentaires, & qu'il soit par cela même bien différent de celui qui ne fait que remplir les vuides ou les pores de ces mêmes matieres.

C'est à cet air extrait des corps que Boyle, & après lui M. Hales, ont donné le nom de *Factice*; non pas qu'il ayent cru qu'on pût faire de l'air par la conversion d'une matiere en une autre, mais parce que celui qui existe dans un corps quelconque, & qui est intimement mêlé avec lui, se révivifie ordinairement par le secours de l'art. On peut voir dans les ouvrages même de ces deux Auteurs *, le détail des expériences qu'ils ont faites sur cette matiere, & les conséquences qu'ils en ont tirées. Je me bornerai ici à quelques exemples qui pourront suffire, pour donner une idée de cet air factice, des qualités qu'il a, & des effets dont il est capable.

* *Boyle, experiment. Phys. Mech. continuat. 21. Halles, stat. des véget. ch. 6. & dans l'appendice, Exper. 2. & suiv.*

XV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut mettre dans un gobelet de verre, avec de l'eau claire, un morceau de bois ou de pierre, une noix, un œuf, ou tout autre corps solide & fort poreux, de maniere qu'il soit entiérement plongé; ce qui se fera facilement par le moyen d'un plomb qu'on y joindra, si les matieres qu'on doit plonger sont plus légeres que l'eau. On couvre le tout d'un récipient sur la platine de la machine pneumatique, & l'on fait agir la pompe pour raréfier l'air. *Fig.* 33.

EFFETS.

A chaque coup de piston, on peut remarquer qu'il sort une grande quantité de bulles d'air du corps plongé; & lorsqu'on l'ouvre après cette épreuve, on le trouve pénétré & rempli d'eau, plus qu'il ne le pourroit être par une simple immersion.

EXPLICATIONS.

L'air qui est renfermé dans les po-

X. LEÇON.

res du bois, de la pierre, &c. est pour le moins aussi dense que celui de l'atmosphere dont il a coutume de soutenir le poids : quand on supprime cette pression, ou qu'on la diminue par l'action de la pompe, cet air se dilate en vertu de son ressort, son volume augmente, & ne pouvant plus se loger dans ces petits espaces où il est, il s'échappe dans l'eau, & devient visible sous la forme de petits globules, qui s'élevent promptement à cause de leur légéreté respective.

L'air qui passe du corps solide dans l'eau qui l'entoure, se met en petites boules, & cet effet arrive en général à tout fluide qui se trouve plongé dans un autre fluide avec lequel il a peine à se mêler ; apparemment parce que ses parties également pressées de toutes parts tendent à un centre commun. Je sais bien qu'on objecte contre cette raison, que les gouttes d'eau ou de mercure demeurent atrondies dans le vuide de Boyle ; mais je sais bien aussi que ce vuide n'en est point un à proprement parler, & que tout ce qu'on peut prétendre, c'est que la pression y soit moindre

qu'ailleurs : mais l'effet dont il s'agit dépend bien moins d'une pression plus ou moins grande, que d'une pression égale de toute part, qu'on ne sauroit nier dans un vaisseau où l'on fait que l'air grossier n'est que raréfié, & dans lequel tout le monde convient qu'il y a toujours un fluide, indépendamment de celui qu'on fait sortir par le moyen de la pompe.

Lorsqu'on fait rentrer l'air dans le récipient, l'eau du gobelet se trouve plus comprimé qu'elle ne l'étoit dans l'air raréfié ; elle s'appuye par conséquent davantage sur toute la superficie du corps plongé. L'air qui a été raréfié dans les pores de celui-ci obéissant à cette nouvelle pression, se resserre dans un moindre espace, & l'eau va occuper les vuides qu'il a laissés. Voilà pourquoi ces corps étant ouverts après l'expérience, paroissent pénétrés ou remplis d'eau.

XVI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On place, sous le récipient d'une machine pneumatique, un gobelet

X. LEÇON.

de verre plus long que large, & rempli jusqu'aux deux tiers de biere, de lait, d'esprit-de-vin, ou d'eau un peu tiede, & l'on fait agir la pompe.

EFFETS.

A mesure que l'air du récipient se raréfie, celui qui est contenu dans la liqueur se dégage, & s'éleve à la surface en forme de bulles qui augmentent de plus en plus en nombre & en grandeur : celles de l'esprit-de-vin & de l'eau font une ébullition qui dure quelque temps ; & si l'on continue de faire le vuide, cet effet cesse enfin, & l'on ne voit plus sortir d'air : la biere & le lait s'élevent en mousse, & se répandent hors du vaisseau. *Voyez la Fig.* 34.

EXPLICATIONS.

C'est encore en supprimant la pression de l'air extérieure qu'on donne lieu à celui qui est répandu dans la liqueur de se dégager ; car n'étant plus chargé comme auparavant, il acquiert un plus grand volume, & sa légéreté respective plus puissante alors que le frottement & les autres causes qui ten-

dent à le retenir, ne manquent pas de l'élever vers la ſurface.

Plus la liqueur eſt facile à diviſer, plus les bulles d'air s'élevent promptement, plus elles s'aggrandiſſent auſſi, parce qu'elles trouvent moins de réſiſtance à vaincre, pour s'étendre : c'eſt pourquoi lorſque le récipient eſt évacué à un certain point, l'eſprit-de-vin & l'eau tiede qui ſont très-fluides, laiſſent tout d'un coup échapper leur air qui les ſoulevent en gros bouillons. La biere & le lait au contraire étant des liqueurs viſqueuſes, ne ſe diviſent que difficilement : les bulles d'air qui s'y forment, demeurent enveloppées de véſicules, & ne s'élevent que lentement ; & comme ces véſicules ne ſont autre choſe que les parties mêmes de la liqueur qui ont peine à ſe ſéparer, les bulles d'air, en les emportant, vuident le vaiſſeau.

APPLICATIONS.

BIEN des perſonnes s'imaginent que tous les corps généralement ſe conſervent très-long-temps dans le vuide ; mais il y a beaucoup à rabattre de ce

X. LEÇON.

préjugé. Il est vrai que ceux qui sont de nature à se décomposer par l'évaporation d'une partie de leur substance, ou à se corrompre par l'humidité qui pourroit les pénétrer, périssent ordinairement moins vîte dans le vuide que dans l'air libre, parce qu'ils ne sont plus entourés d'un fluide qui fait, comme nous l'avons dit *, la fonction d'une éponge ou d'un absorbant, & qui est toujours chargé de quelques vapeurs : mais il n'en est point ainsi de ceux qui portent en eux-mêmes un principe de fermentation ; car, 1ment, en perdant l'air qui remplit leurs pores, le mouvement intestin de leurs parties n'en devient que plus libre ; 2ment, cette liberté augmente encore par la suppression du poids ou du ressort de l'air extérieur ; ce qui me fait croire que les matieres de cette derniere espece se conserveroient mieux dans un air comprimé que dans le vuide.

* Tome II. page 121, & suiv.

Le vin de Bourgogne qui a passé les Alpes n'a pas le même corps que celui qu'on boit en France ; il paroît moins coloré & plus pétillant : ne seroit-ce point parce qu'il auroit un peu travaillé

travaillé en paſſant ſur les hautes montagnes où la preſſion de l'atmoſphere étant moins grande qu'elle ne l'eſt dans la plaine, a pû donner lieu à quelque commencement de fermentation ? Ce qui me le feroit ſoupçonner, c'eſt qu'ayant tenu dans un air un peu raréfié, & pendant quelques jours, une bouteille de vin, au bouchon de laquelle j'avois pratiqué un petit trou, il me parut un peu défait, & à-peu-près ſemblable à celui que j'avois goûté en Piémont. Je dois ajouter cependant que pluſieurs perſonnes dignes de foi m'ont aſſuré, que le vin de Bourgogne qui va par mer en Italie, eſt ſujet à de pareils changemens : le même effet peut être produit par différentes cauſes.

L'air qui ſe dégage d'une liqueur en augmente néceſſairement le volume juſqu'à ce qu'il en ſoit entiérement ſorti, parce que les globules inſenſibles qui étoient logés dans les pores, ſe réuniſſant pluſieurs enſemble, forment des maſſes plus grandes qui occupent de nouvelles places dans la liqueur : de même que ſi l'eau qu'on fait entrer, comme on fait, ſans

X. LEÇON.

difficulté dans un verre plein de cendres ou de sable, se convertissoit tout d'un coup en plusieurs petits glaçons de la grosseur d'une tête d'épingle, on conçoit bien que les deux matieres ne pourroient plus être contenues dans le même vase. L'air se dégage aussi dans les liqueurs qui fermentent, & l'effort qu'il fait pour en augmenter le volume, fait souvent casser les vaisseaux qui les contiennent.

Il est inutile de proposer ici aucune expérience, pour prouver qu'on peut faire sortir l'air d'une matiere, en la faisant chauffer fortement; nous avons tous les jours sous les yeux assez d'exemples de cette seconde méthode, dans la préparation de nos alimens; on entend, & l'on voit même sortir l'air des viandes & des fruits qu'on fait cuire, du bois verd qu'on met au feu, de l'eau, & des autres liqueurs que l'on fait bouillir. Les premiers bouillons doivent être attribués aux parties les plus grossieres de l'air, qui, dilatées par la chaleur dans un fluide qui se dilate lui-même, augmentent en volume, & soulevent

avec violence ce qui s'oppose à leur extension & à leur ascension. Je dis les premiers bouillons ; car je ferai voir, en parlant du feu & de ses effets, qu'une liqueur qui continue de bouillir jusqu'à ce qu'elle soit entiérement évaporée, ne le fait pas en vertu d'une quantité d'air assez considérable pour fournir jusqu'à la fin. Mais quand l'air sort d'une liqueur que l'on fait chauffer, on voit à-peu-près le même effet que dans le vuide ; les bulles qui se forment ont d'autant plus de peine à se dégager, que la matiere qui les enveloppe est plus difficile à rompre ou à étendre : elles se dégagent donc & s'élevent plus lentement dans du lait que dans de l'eau, & l'action du feu qui tend à les dilater agit plus long-temps sur chacune, & en même temps sur un plus grand nombre ; c'est pourquoi ces sortes de liqueurs, le beurre, les résines & les gommes fondues, se gonflent peu-à-peu, & surprennent, par des effervescences subites & assez souvent dangereuses, ceux qui les font chauffer avec trop peu d'attention.

A-peu-près comme l'eau sort d'une

X. LEÇON.

éponge mouillée que l'on presse, l'air se dégage de toutes les matieres dont les parties se rapprochent & se condensent fortement : on s'en apperçoit rarement dans les solides, parce qu'étant communément plongés dans l'air de l'atmosphere, celui qui sort de leur intérieur se mêle immédiatement avec un fluide semblable à lui-même, & qui empêche par cette raison, qu'on ne le distingue : ce n'est qu'en pressant ces corps dans l'eau, ou dans quelqu'autre liqueur, qu'on peut s'assurer de l'effet dont il est question.

Les liquides qui se gelent, se désaisissent aussi de l'air qu'ils contiennent à mesure que leurs parties se rapprochent; & quand cet air qui étoit disséminé dans les pores en particules insensibles, s'en trouve exclu, il se rassemble en plusieurs bulles, & prend différentes formes dans la masse, s'il s'y trouve renfermé & retenu par les progrès trop rapides de la congélation. Je pourrois appeller en preuves les phénoménes de la glace; mais il sera temps d'en faire mention lorsque je traiterai de l'eau & de ses différens états.

Le dernier procédé, & celui qui est peut-être le plus efficace de tous, pour séparer l'air des matieres avec lesquelles il se trouve mêlé, c'est la division de leurs parties, sur-tout si cette division va jusqu'à les décomposer, comme il arrive ordinairement lorsqu'on fait putrifier, fermenter, distiller, ou brûler les corps mixtes.

Que la quantité d'air que l'on tire ainsi, égale presque le volume des corps d'où il sort, c'est une merveille que l'on n'a dû croire que d'après l'expérience; mais que cet air extrait, & soumis au poids de l'atmosphere, surpasse un grand nombre de fois la grandeur de ces mêmes corps qui le contenoient, c'est ce qu'on ne peut apprendre sans étonnement; & l'on seroit tenté d'en douter, si les Auteurs les plus accrédités, de qui nous tenons cette découverte, n'avoient appuyé leurs temoignages sur un détail bien circonstancié de leurs épreuves. Celles de MM. Mariotte & Hales m'ont paru les plus décisives; c'est dans leurs écrits que j'ai puisé les preuves suivantes: le lecteur qui prendra la peine de les chercher dans leurs

X. LEÇON.

sources, y trouvera un grand nombre de faits, plus curieux les uns que les autres, & qui établissent de concert la doctrine que je viens d'exposer.

XVII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig*. 35. représente une tasse de métal fort mince, au fond de laquelle on a pratiqué un enfoncement que l'on emplit d'une grosse goutte d'eau; on verse ensuite de l'huile d'olives, jusqu'à la hauteur d'un travers de doigt, & l'on couvre la goutte d'eau d'un petit vase de verre qui a la forme & à-peu-près la grandeur d'un dé à coudre, ayant attention qu'il soit plein d'huile, ce qu'il est aisé de faire en l'inclinant dans la tasse avant que de le placer debout.

EFFETS.

Si l'on tient la tasse sur une bougie ou sur une lampe allumée, pour faire chauffer la goutte d'eau; 1°. Il s'en éléve peu-à-peu une grande quantité de petites bulles d'air, qui, lorsque tout est refroidi, occupent dans le vase de

verre, un eſpace plus grand (*a*) que le volume de la goutte d'eau d'où elles ſont ſorties : 2°. l'huile qui reſte dans le petit vaſe de verre, perd ſa tranſparence, en ſe refroidiſſant. X. LEÇON.

EXPLICATIONS.

A meſure que la goutte d'eau s'échauffe, les parties s'écartent un peu les unes des autres; les pores ou petits intervalles qui ſont entr'elles, ſe dilatent, les particules d'air qui ſe trouvoient retenues deviennent plus libres, & leur légéreté reſpective ſuffit alors pour les dégager entiérement, & pour les élever dans la partie ſupérieure du petit vaſe de verre. Mais ce qui aide encore davantage cette ſéparation, c'eſt que la même chaleur qui dilate la goutte d'eau, dilate auſſi les petites bulles d'air, & leur volume conſidérablement augmenté les rend d'autant plus légeres, & par conſéquent d'autant plus propres à s'élever au-deſſus de l'eau & de l'huile. On peut

(*a*) M. Mariotte dit 8 *ou* 10 *fois plus grand*; cependant quoique j'aye repété cette expérience bien des fois, & avec ſoin, je n'ai jamais trouvé tant d'air au haut du petit vaſe.

X. LEÇON.

ajouter encore que la liquidité de l'eau & de l'huile augmente par l'action du feu, que le frottement & la viscosité diminuent d'autant; ce qui donne lieu aux bulles d'air de se dégager & de s'élever plus facilement.

La colonne d'huile qui couvre la goutte d'eau devient opaque, parce que la chaleur y éleve la vapeur de l'eau, qui se mêle aux parties de l'huile, & qui forme avec elles des molécules dont l'assemblage devient moins perméable à la lumiere : soit que les pores de ce liquide composé soient moins directs qu'ils ne le sont dans l'eau & dans l'huile séparément; soit que ses parties deviennent trop grossieres. Cette derniere raison (qui n'exclut point l'autre) paroît d'autant plus probable, que cette même huile chargée d'eau & devenue opaque, reprend presque sa premiere transparence lorsqu'on la fait chauffer de nouveau, sans doute, parce qu'alors les parties atténuées par l'action du feu laissent à la lumiere un passage plus libre.

XVIII.

XVIII. EXPERIENCE.

Preparation.

La préparation de cette expérience se fait à-peu-près comme celle de la précédente, excepté seulement, qu'on employe des vases plus grands, & qu'au lieu d'une goutte d'eau au fond de l'huile, on met dans de l'eau tiede un petit cylindre de sucre commun, égal à la partie *AB*, prise intérieurement. *Fig.* 35.

Effets.

A mesure que le sucre se fond dans l'eau, on en voit sortir des bulles d'air qui s'élévent vers la partie supérieure du vaisseau; & lorsque la dissolution est faite, la quantité d'air qui s'est élevée égale assez souvent les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{3}{4}$ de l'espace *AB*.

Explications.

L'eau chaude, en pénétrant dans le sucre, désunit ses parties, & les subdivise; alors les petites bulles d'air qu'elles renfermoient entr'elles, étant comme isolées, s'élévent au travers de

X. LEÇON.

l'eau qui est toujours beaucoup plus pesante. La quantité de ces particules d'air varie selon la qualité du sucre, & la solution plus ou moins parfaite de sa masse : mais on peut toujours comparer le volume d'air qui est sorti, à celui du sucre qu'on a fait fondre, puisque l'espace *AB* sert de mesure commune à l'un & à l'autre.

XIX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut joindre la cornue *AB*, *Fig.* 36. dans laquelle on aura mis quelque matiere à distiller, au matras *AC*, avec quelque espece de lut qui ne se fonde point à une médiocre chaleur, & qui ne se dissolve point non plus par une légere humidité. Ces deux vaisseaux étant ainsi joints, il faut faire entrer dans le col du dernier une branche du siphon *EDF*, par un trou pratiqué au fond du vaisseau; on plonge ensuite le matras & le siphon dans l'eau, afin que le premier s'emplisse par *D*, jusqu'à la hauteur *F*; ce qui se fait aisément par le moyen du siphon qui permet à l'air de s'échapper : on ôte

ensuite ce siphon, & l'eau demeure suspendue à la hauteur *F*, par la pression de l'atmosphere qui agit sur celle du bacquet. Enfin l'on chauffe la cornue, en la posant sur un fourneau disposé à une hauteur convenable. Si les matieres que l'on distille rendent de l'air, on s'en apperçoit, parce que le volume de celui qui est renfermé en *A F*, augmente; si au contraire elles en absorbent, comme il paroît en certains cas, on le voit aussi par la diminution de ce même volume d'air. Et si l'on veut comparer la quantité d'air rendu ou absorbé, à celle des matieres qu'on a mises dans la cornue, on le peut facilement en réduisant à une mesure connue, comme au pouce cubique, par exemple, ce qu'on met dans la cornue: car après la distillation, on pourra voir combien il faut de pouces cubiques d'eau pour remplir l'espace occupé par l'air, en plus au-dessous, ou en moins au-dessus de *F*.

Mais ce volume d'air que l'on veut mesurer, ne doit l'être que quand tout est refroidi au même degré que l'étoit celui de la partie *A F*, au moment

X. LEÇON.

que l'on a commencé l'expérience ; car on ſait combien quelques degrés de chaleur de plus ou de moins peuvent faire varier les dimenſions de ce fluide ; & pour n'avoir point d'erreur conſidérable à ſoupçonner à cet égard, il faudroit y avoir enfermé un petit thermométre très-ſenſible.

Une autre attention que l'on doit avoir encore, ſi l'on veut procéder avec exactitude, c'eſt de conſulter la hauteur du barométre, au commencement & à la fin de l'expérience, pour s'aſſurer ſi le poids de l'atmoſphere n'a point varié pendant l'opération ; car il eſt certain que le volume d'air contenu dans le col du matras doit augmenter ou diminuer, ſelon que l'eau y ſera pouſſée plus ou moins haut, par la preſſion de l'air extérieur ſur la ſurface du bacquet.

Enfin s'il s'agiſſoit d'une exactitude ſcrupuleuſe, on devroit conſidérer encore, que la colonne d'eau qui demeure au-deſſus du niveau, ou qui eſt portée au-deſſous, par la quantité plus ou moins grande de l'air qui occupe le col du matras, empêche que cet air ne ſoit jamais d'une denſité

parfaitement égale à celle de l'air extérieur ; mais heureusement dans la plûpart de ces épreuves, on peut se contenter d'un à-peu-près ; & le Physicien doit souvent se mettre au-dessus des minucies, pour n'être point découragé dans ses recherches.

EFFETS.

Par des procédés à-peu-près semblables à celui que je viens de décrire, M. Hales * ayant éprouvé toutes sortes de matieres animales, végétales & minérales, solides & liquides, a trouvé, par exemple, qu'un pouce cubique de sang de cochon, distillé jusqu'aux scories seches, produisoit 33 pouces cubiques d'air.

* *Stat. des Végét. ch. 6.*

Que la moitié d'un pouce cubique de la pointe des cornes d'un daim, donnoit 117 pouces cubiques d'air, ce qui faisoit un volume 234 fois aussi grand que celui de la matiere distillée.

Que d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, il en sortoit 128 pouces cubiques d'air.

Que d'un pouce cubique de terre

vierge, il vint à la diſtillation 43 fois autant d'air.

X. LEÇON.

Le même Auteur trouva que l'eau forte, le ſoufre, & pluſieurs autres matieres, bien loin de rendre de l'air, en abſorboient; c'eſt-à-dire, qu'après la diſtillation, le volume d'air contenu en *A F*, ſe trouvoit moins grand qu'il n'étoit avant l'expérience.

EXPLICATIONS.

Lorſqu'on diſtille une matiere, l'action du feu diviſe ſes parties, les réduit, & les éleve en vapeurs. Les particules d'air qui ſe trouvent dans la maſſe demeurant iſolées par ſa diviſion, & par ſon évaporation, s'uniſſent avec le volume d'air qui eſt renfermé dans la cornue & dans le col du matras, & ce volume eſt d'autant augmenté: de-là il arrive que la ſurface de l'eau baiſſe communément au-deſſous de *F*.

Mais ſi la matiere que l'on diſtille eſt de telle nature que l'air s'uniſſe à elle plus facilement & plus fortement qu'il ne peut s'unir avec d'autre air, non-ſeulement cette matiere ne ſe déſaiſit point des particules d'air qu'elle

contient; mais acquerant plus de surface par sa division, elle s'approprie encore de nouvelles parties d'air en passant par l'espace *A F*; & l'eau s'éleve d'autant, pour occuper la place de l'air absorbé.

X. LEÇON.

Ce que l'on a de la peine à comprendre, c'est qu'il puisse se loger une si grande quantité d'air dans certaines matieres, sans qu'il y paroisse comprimé, autant qu'il faudroit qu'il le fût, si l'on vouloit le réduire à un aussi petit volume, lorsqu'une fois il est dégagé; car quelle force ne faudroit-il pas pour restraindre dans l'espace d'un demi-pouce cubique 234 fois autant d'air semblable à celui de l'atmosphere?

Ce phénoméne nous apprend que l'air intimement mêlé à d'autres matieres, y est dans un état tout différent de celui où nous le voyons lorsqu'il en est dégagé; quel est donc cet état de l'air dans l'intérieur des corps? & comment en reçoit-il un autre lorsqu'il se dégage?

On peut supposer, comme l'ont fait plusieurs habiles Physiciens * de nos jours, que les parties de l'air,

* *M. de Mairan, Dis-*

X. LEÇON.

sertat. sur la glace.

Mariotte, Essais sur la nature & les propriétés de l'air.

lorsqu'il est intimement mêlé à quelqu'autre matiere, ne se touchent plus; & qu'elles sont immédiatement appliquées aux parties même du corps qui les contient, comme pourroient être de petits poils ou des filets de coton qui envelopperoient, par exemple, des grains de sable, ou qui seroient logés séparément dans les intervalles qui se trouveroient à remplir entre ces mêmes grains rassemblés en une masse : car quoique plusieurs brins de coton ensemble forment ordinairement un petit flocon flexible, & qui occupe un espace assez sensible, à cause de tous les vuides qui font partie de son volume; on conçoit bien cependant qu'il en occuperoit incomparablement moins par sa matiere propre, & si ses vuides remplis d'une autre substance ne contribuoient plus à sa grandeur. On doit convenir aussi que sa flexibilité, & par conséquent son ressort, seroit nulle, si chacun de ces petits filets étoit soutenu par un corps dur, comme il arriveroit infailliblement, si l'espace de l'un à l'autre étoit rempli par une matiere solide.

Cette hypothese est d'autant plus vraisemblable, que l'air ne paroît contribuer ni à la compressibilité des corps, ni à leur dilatabilité : l'esprit-de-vin des thermométres étant purgé d'air *, n'en paroît ni plus ni moins sensible à l'augmentation du froid ou du chaud : & les corps qu'on a tenus dans le vuide, n'en sont pas moins compressibles, quoiqu'on en ait vu sortir une quantité d'air assez considérable. L'air dans l'intérieur des corps, est donc, comme dit M. Hales, dans un état de fixité ; & lors même qu'il s'en dégage, il n'acquiert point de ressort, s'il emporte avec lui quelque substance étrangere qui l'empêche de se joindre à d'autre air, pour former de petits globules : car ce n'est que dans ce dernier état, qu'il peut être flexible & élastique.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. pour l'ann.* 1731. *p.* 267.

Ce raisonnement, je l'avoue, est fondé sur des faits incontestables ; mais il en est d'autres, qui ne sont ni moins certains ni moins connus, & qui nous portent à raisonner tout autrement ; lorsqu'une matiere passe dans le vuide, ou que l'action du feu ou d'un dissolvant diminue, ou fait

X. LEÇON.

cesser la cohérence de ses parties, on voit aussi-tôt l'air s'en dégager ; ne devons-nous pas penser que cet air étoit dans l'état d'un ressort tendu, & qu'il n'attendoit pour se déployer que la suppression des obstacles qui l'en empêchoient ?

Voici ce que l'on peut dire pour concilier ces phénoménes qui semblent se contredire : l'air, dans la plûpart des corps, se trouve sous deux états différens ; les plus grands vuides, ces pores qui communiquent ensemble, le contiennent en globules, ou pour mieux dire, en petites colonnes que le poids de l'atmosphere a condensées, & qui, par la continuité de leurs parties ont conservé la faculté de s'étendre & de se porter en dehors lorsque la pression extérieure vient à cesser ; l'autre air beaucoup plus divisé, ne remplit que des pores isolés plus petits, & la matiere qui l'environne a plus de cohérence qu'il n'a d'élasticité. Pour dégager le premier, il suffit ou d'augmenter fortement son ressort par la chaleur, ou de lever l'obstacle qui le tient tendu : ces deux moyens sont faciles ; 1^{ment}, par-

ce que le ressort de l'air s'anime d'autant mieux que son volume est plus grand ; 2ment , parce que les pores qui contiennent ces petites colonnes sont ouverts jusqu'à la surface. Il n'en est pas de même de l'autre air , il faut, pour l'extraire, diviser le corps jusques dans ses moindres parties ; & comme on suppose ce fluide réduit presque à ses premiers élémens , on ne doit rien attendre de son ressort, pour aider cette séparation.

A l'aide de cette supposition , je conçois comment l'air ne rend ni plus dilatables, ni plus compressibles les matieres avec lesquelles il est mêlé, quoiqu'il y jouisse de son élasticité ; car 1°. si les petits globules contigus les uns aux autres dans toute l'étendue de chaque pore, s'y trouvent contenus comme dans une gaine, dont les parties solides se soutiennent mutuellement , ce canal comprimé par dehors, n'empruntera rien de la flexibilité de l'air qu'il renferme, & par conséquent le corps entier qui n'est qu'un assemblage de ces tuyaux, ne sera ni plus ni moins compressible , soit que ses pores soient

X. LEÇON.

remplis d'air, soit qu'ils en soient vuides. 2°. Si ces colonnes d'air moulées dans les pores sont composées de globules fort petits, comme on le doit supposer, l'action modérée du feu ne pourra les dilater que très-peu ; & leur accroissement n'excédera pas sensiblement celui des pores qui se dilatent aussi par le même degré de chaleur : ainsi la masse totale ne sera ni plus ni moins dilatable, soit qu'elle contienne de l'air élastique, soit qu'elle n'en contienne pas.

Mais cet air même le plus intimement mêlé, celui que nous regardons comme n'ayant point de ressort, parce qu'il est extrêmement divisé, n'en a-t-il point en effet ? Ses parties, au lieu d'être devenues trop courtes pour être flexibles, ne seroient-elles pas plutôt repliées sur elles-mêmes autant qu'il est possible qu'elles le soient ? & leur inflexibilité ne viendroit-elle pas de ce qu'elles ne pourroient plus s'approcher davantage, à-peu-près comme un fil roulé en peloton, devient un corps dur qu'on a peine à comprimer, & qui, lorsqu'il se développe, occupe une place

incomparablement plus grande. En m'arrêtant à cette idée, j'apperçois la raiſon pour laquelle cet air extrait des corps prend un volume ſi conſidérable qu'il excéde deux ou trois cens fois celui dont il faiſoit partie. La nature a pu ſe ménager des moyens pour reſtraindre ainſi les particules d'air qu'elle fait entrer dans la compoſition des mixtes ; & la cohérence de ces mêmes corps, quelle qu'en ſoit la cauſe, eſt une puiſſance qui peut ſuffire pour réſiſter à ſa réaction.

Une raiſon que l'on peut ajouter encore pour expliquer cette prodigieuſe extenſion de l'air extrait, c'eſt que cet air n'eſt point pur ; c'eſt un fluide compoſé, qui tient beaucoup des matieres d'où il ſort ; je ne veux pour preuves que les effets dont il eſt capable : celui que l'on tire de la pâte fermentée, des fruits, & de la plûpart des végétaux, éteint le feu, ſuffoque les animaux, & ſe fait ſentir par une odeur pénétrante *; il eſt donc évident que cet air eſt chargé d'une vapeur abondante, qui fait partie de ſon volume, & l'on ſait d'ailleurs que toutes les ſubſtances qui s'é-

* *Boyle, Exp. Phyſ. Mech. continuat. 2. Hales, Stat. des végét. p. 152.*

vaporent, s'étendent prodigieusement; ainsi les cent vingt-huit pouces cubiques d'air qui sortent d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, se réduiroient vraisemblablement à une quantité bien moins grande, si l'on en séparoit ce qu'ils contiennent d'étranger.

APPLICATIONS.

LES alimens tant solides que liquides qui entrent dans l'estomac, s'y décomposent par la digestion; ils se désaisissent par conséquent de l'air qu'ils contiennent; cet air ainsi dégagé se rassemble en bulles, & prend un volume beaucoup plus considérable; non-seulement parce qu'il se développe & s'étend lorsqu'il est libre, comme on l'a vû par les expériences précédentes; mais encore parce qu'il éprouve un degré de chaleur assez grand, qui dilate ce fluide d'autant plus que sa masse est plus ample.

Si l'air qui se dégage ainsi des alimens dans l'estomac, ne trouve point d'issue libre pour en sortir, il presse & distend les parties qui le retiennent, & ses efforts font naître quel-

quefois des douleurs assez vives, que l'on nomme *coliques de vents*.

X. Leçon.

Lorsque rien ne s'oppose à son passage, il sort par la bouche, & cause ces rapports le plus souvent désagréables & plus ou moins fréquens, selon la quantité des alimens qu'on a pris, leurs qualités, leurs préparations, ou la disposition actuelle de l'estomac qui les digere.

Ces rapports déplaisent presque toujours, quoique l'on ait mangé ou bû des substances qui soient par elles-mêmes d'une odeur & d'un goût fort agréables: c'est que la digestion les décompose, & que l'air qui s'en exhale n'en emporte que des extraits: or dans les alimens les plus sains, il y a des parties, qui lorsqu'elles sont séparées des autres, sont capables d'affecter nos sens d'une maniere déplaisante ou même dangéreuse. Le pain & la pâte de froment, le raisin & les autres fruits, &c. sont du goût de tout le monde, & ne nuisent point au commun des hommes; cependant l'air qui en sort, quand on les fait fermenter, est infect & mortel.

Un estomac surchargé d'alimens,

X. LEÇON.

eſt plus incommodé qu'un autre de ces ſortes d'exhalaiſons ; on en voit aſſez la raiſon. Mais la qualité & la préparation ſont deux choſes qui ont beaucoup de part à cet effet. En général les liqueurs ſpiritueuſes & fermentées comme le vin, la biere, &c. & tous les alimens cruds, portent avec eux une très-grande quantité d'air ; & l'on doit s'attendre d'en être incommodé, ſi l'on n'en uſe avec modération.

Un uſage modéré des alimens ne garantit pas même toujours des rapports d'eſtomac ; on voit des perſonnes précautionnées & ſobres, qui s'en plaignent beaucoup. C'eſt qu'alors il y a ſans doute quelqu'humeur vicieuſe qui occaſionne une mauvaiſe digeſtion. Suivant nos principes, cette digeſtion eſt mauvaiſe par excès ; car puiſqu'elle rend une plus grande quantité d'air, il paroît que les alimens ſont plus diviſés ; ainſi en pareil cas, on pourroit dire peut-être que l'on digere trop ; mais ceci paſſe les bornes de mon deſſein, c'eſt une queſtion que je ſoumets à l'examen de la faculté.

En

En certains temps de l'année le vin & la biere travaillent dans les tonneaux & dans les bouteilles ; c'est-à-dire, qu'il s'y fait une légere fermentation, sur-tout si ces liqueurs sont remuées ou placées dans des lieux qui ne soient pas assez frais. Ces mouvemens intestins ne manquent point de donner lieu aux particules d'air de se dégager & de monter à la surface ; & comme il lui faut alors beaucoup plus de place qu'il n'en occupoit lorsqu'il étoit divisé & logé dans les pores, il sort avec impétuosité, dès qu'on débouche les vaisseaux, & ses efforts vont même jusqu'à les faire crever, lorsqu'on néglige de lui ouvrir un passage.

Dans les laboratoires de chymie, les artistes ont grand soin de laisser une issue à l'air, quand ils lutent leurs vaisseaux ; l'usage leur a appris que sans cette précaution, les ballons sont en danger de crever avec éclat : quand cet accident arrive, on a coutume de s'en prendre à la masse d'air qu'on a laissé enfermé dans le récipient, & que la chaleur dilate ; & en effet cette cause y contribue, mais la rupture

X. LEÇON.

des vaisseaux vient principalement de la quantité d'air qui sort de la plûpart des matieres qu'on distille; car pour l'ordinaire, le ballon est capable de résister aux efforts de l'air qu'on y renferme, & qui n'y souffre qu'un degré de chaleur assez médiocre.

Quand on enfonce une canne ou un bâton dans la vase au bord d'une riviere ou d'un étang, on voit communément beaucoup de bulles d'air s'élever à la surface de l'eau; cet air vient sans doute des feuilles, des branches d'arbres, des plantes & autres végétaux qui se sont amassés & pourris au fond; il demeure engagé dans la boue jusqu'à ce qu'on lui ouvre une issue.

Si l'on fait sortir l'air d'une matiere sans désunir les parties de sa masse, en la plaçant, par exemple, dans le vuide; dès qu'on l'expose ensuite à l'air libre, elle reprend ce qu'on lui a ôté, à-peu-près comme une éponge qui se remplit toujours d'eau, toutes les fois qu'on l'y plonge après l'avoir pressée. M. Mariotte * s'est assûré du fait par une expérience

* *Essai sur la nature & les propriétés de l'air.*

aussi simple qu'ingénieuse. Il purgea d'air une certaine quantité d'eau, en la faisant bouillir; & en la mettant ensuite quelque temps dans le vuide, il en remplit une phiole qu'il renversa dans un vase plein d'eau, sans la boucher, en observant de faire monter dans le haut une bulle d'air de la grosseur d'une aveline; peu-à-peu il vit diminuer cet air, qui disparut enfin tout-à-fait au bout d'environ 3 jours, ce qui lui fit connoître évidemment que l'eau de la phiole s'en étoit saisie; ce qui s'est passé à l'égard de l'eau, arriveroit sans doute à tout autre matiere; on pourroit tout-au-plus soupçonner quelques variétés, dans la quantité d'air qui rentre, ou dans le temps qu'il met à rentrer.

X. LEÇON.

Des expériences d'un autre genre ausquelles j'étois occupé, ayant exigé que je susse avec plus de précision, en combien de temps l'eau peut reprendre l'air qu'elle a perdu par l'ébullition & par la suppression du poids de l'atmosphere, je fis l'expérience qui suit.

X. LEÇON.

XX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A Fig. 37. eſt une caraffe que je remplis d'eau, récemment purgée d'air, environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité; je la bouche avec du liege que je couvre enſuite d'une couche de cire fondue & mêlée avec de la térébenthine; au travers de ce bouchon je fais paſſer le bout du tuyau de verre *BCD*, qui eſt recourbé en deux ſens oppoſés, & dont la partie *CD* attachée ſur une planche graduée en pouces & en lignes, eſt ſoutenue verticalement ſur un pied. Je fais encore paſſer au travers du même bouchon le tube d'un thermométre, dont la boule eſt en partie plongée dans l'eau de la caraffe. Je place enſuite cette même caraffe dans un ſeau qui eſt rempli d'eau, ainſi que la partie *CE* du tuyau; je marque alors avec un fil *K*, la hauteur du thermométre, & j'obſerve au barométre celle du mercure, au moment que je commence l'expérience.

Tout étant ainsi disposé, je remarque de 12 en 12 heures l'ascension de l'eau dans le tuyau au-dessus du point *E*; & pour être sûr que l'air est toujours d'une égale densité entre l'eau du tuyau & celle de la caraffe, à chaque observation, je prend soin, 1°, de rappeller le bain du seau *GH* à sa premiere température, en le réchauffant ou en le refroidissant jusqu'à ce que la liqueur du thermométre revienne, & se fixe au fil *K*, 2°: Je vois de combien le mercure a haussé ou baissé dans le barométre: & comme une ligne de mercure répond à 14 lignes d'eau pour le poids, je les ajoute ou je les diminue dans la partie *CD* du tuyau, afin que la pression de l'atmosphere demeure toujours à-peu-près la même.

La quantité d'eau qui s'éleve au-dessus du point *E*, indique, comme on voit, le volume d'air qui rentre dans l'eau de la caraffe; & après l'expérience, on peut comparer ce volume d'air à celui de l'eau dans laquelle il rentre, en mesurant avec un chalumeau renflé *F*, combien de fois l'eau de la caraffe surpasse celle qui

s'est élevée au-dessus du point *E*.

X. LEÇON.

Effets.

En procédant ainsi j'ai observé : 1°, Que l'eau du tuyau s'est élevée continuellement pendant 7 à 8 jours au-dessus de *E* :

2°, Que le progrès de son ascension a toujours été en diminuant, de façon que dès le sixieme jour, il étoit presqu'insensible ;

3°, Que la somme de toutes les quantités d'eau élevées égaloit à-peu-prés la trentieme partie de celle de la caraffe.

Explications.

La masse d'eau qui est dans la caraffe, est à l'égard de l'air qui est contenu au-dessus, à-peu-près comme un corps spongieux que l'on a pressé ou desseché, & que l'on applique à la surface de quelque liqueur ; les pores qui ont été vuidés, comme autant de petits tubes capillaires, absorbent le fluide qui s'y présente, & qui est encore aidé par la pression de l'atmosphere qui agit en *D*. Mais comme l'air est composé de parties rameuses, ou

de petites lames tortillées, ce n'est que peu-à-peu qu'il s'atténue, & que ses globules peuvent se proportionner aux petites capacités tortueuses qu'il doit remplir; la difficulté qu'il a pour s'introduire dans l'eau, devient d'autant plus grande, que la masse de la liqueur est plus profonde; & c'est par ces raisons, sans doute, qu'il la pénétre si lentement, & que les progrès de cette pénétration vont toujours en diminuant.

APPLICATIONS.

En suivant le procédé de l'expérience précédente, on peut connoître à-peu-près la quantité d'air que l'on a fait sortir d'une matiere; car il y a toute apparence, qu'après un temps suffisant, ce qui est rentré est égal à ce qui en étoit sorti; & conséquemment on pourra juger entre plusieurs especes, celle qui abonde le plus en air, celle qui le reprend plus promptement, & combien de temps on peut la regarder comme étant purgée d'air.

Ne pourroit-on pas même par ce moyen introduire certaines odeurs

dans des matieres fluides ? car l'air en y rentrant, pourroit servir de véhicule aux parties odorantes, dont il se charge trés-facilement, & en très-grande quantité.

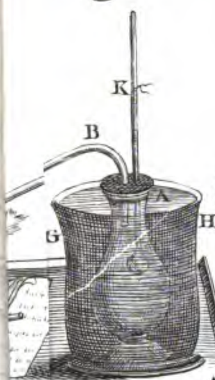
Ces différentes vûes ouvrent un champ assez vaste à de nouvelles & curieuses expériences ; j'en ai déja tenté avec quelque succès plusieurs, dont je rendrai compte ailleurs ; je souhaite que mon exemple excite le zele des Physiciens ; la même matiere maniée par différentes mains, fournit ordinairement un plus grand nombre de connoissances.



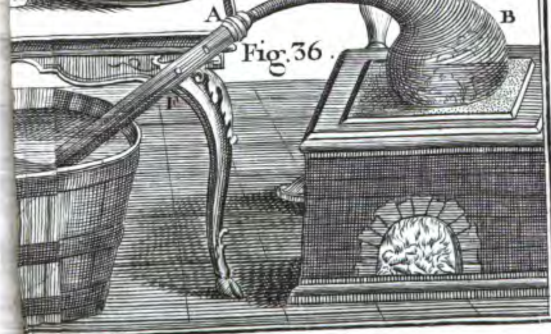
XI. LEÇON.

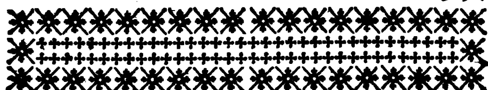

ig 2.
I
K


Fig. 34.


K
B
A
H
G


A
B
Fig. 35.


A
B
Fig. 36.
F



XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

II. SECTION.

De l'Air considéré comme Atmosphere terrestre.

LA plûpart des matieres terrestres contiennent beaucoup d'air entre leurs parties, comme nous l'avons fait voir à la fin de la Leçon précédente ; réciproquement aussi, une masse d'air quelconque se trouve toujours mêlangée de quelques substances étrangeres, & l'on peut dire d'elle, comme de tout autre corps, qu'elle n'est jamais parfaitement pure, c'est-à-dire, qu'elle comprend toujours dans son volume quelqu'autre chose que sa matiere propre. Tout ce qui s'exhale de la terre & des eaux, des animaux & des plantes, entre aussi-tôt

XI. LEÇON.

dans cet élément que nous respirons ; dans lequel nous vivons, & à qui l'on a donné le nom d'*Atmosphere*, parce qu'il envelope de toutes parts le globe dont nous habitons la surface. C'est un fait dont nous avons essayé de rendre raison *, en supposant qu'il étoit suffisamment connu ; & en effet, si l'on en pouvoit douter, la dissipation d'une infinité de substances qui disparoissent tous les jours à nos yeux, & l'opinion raisonnable & généralement reçue, que rien ne s'anéantit de tout ce qui a été créé, suffiroient pour nous convaincre de cette vérité : lorsque le feu décompose un mixte, ne voyons-nous pas les parties les plus subtiles s'élever en flamme & en fumée ! Quand le cadavre d'un chien ou d'un cheval qu'on à jetté à la voierie, diminue de jour en jour, & devient à rien, n'est-ce point toujours en infectant les environs par une mauvaise odeur, effet, comme on sait, des parties qui s'en exhalent ? Enfin quelqu'un ignore-t-il que les vaisseaux qui contiennent des liqueurs, se vuident par évaporation, si l'on néglige de les boucher ? L'at-

* *Tome II. page 110. & suiv.*

mosphere terrestre est donc un fluide mixte, un air chargé d'exhalaisons & de vapeurs. Son état varie selon les temps & les lieux, parce que les parties qui entrent dans ce mêlange, ne sont pas toujours ni par-tout en même quantité, ni avec les mêmes qualités.

On peut considérer l'atmosphere sous deux aspects différens : 1ment, comme un fluide en repos, qui pése également de toutes parts sur la terre, qui reçoit d'elle des matieres de différentes natures, qui les soutient pendant un temps, qui les laisse retomber, & qui nous transmet le chaud & le froid dont il est susceptible : 2ment, comme un fluide agité, dont les mouvemens peuvent être différemment modifiés. En examinant l'atmosphere sous ces deux points de vûe, nous parcourons dans les deux articles suivans ses principales propriétés.

ARTICLE PREMIER

De l'Atmosphere considérée comme un fluide en repos.

Le repos que je suppose ici ne doit point s'entendre dans un sens

XI. LEÇON.

absolu, & pour toute l'atmosphere en même-temps ; car à la rigueur les parties qui la composent sont dans un mouvement presque continuel, puisqu'elles s'élévent ou s'abaissent fréquemment, & que les changemens de température les étendent ou les resserrent alternativement. Indépendamment de ces vicissitudes, il ne regne jamais un calme si complet dans ce vaste fluide, qu'il n'y en ait toujours quelque portion agitée ; & d'ailleurs l'atmosphere est une dépendance du globe terrestre qui se meut comme lui & avec lui en 24 heures sur un axe commun, & en un an dans le même orbe autour du soleil ; ainsi quand je la considere comme étant en repos, c'est bien moins en lui attribuant absolument cet état, qu'en faisant abstraction de ses principaux nouvemens.

Nous ne voyons jamais qu'aucune portion de l'atmosphere perde sa fluidité, quoiqu'une grande partie de ce qui la compose soit propre à former des corps solides : l'eau s'y durcit & retombe en petits glaçons ; mais l'air dans lequel elle étoit soutenue ne se

congéle point avec elle ; c'est que ces parties aqueuses, quelqu'abondantes qu'elles soient, ne le sont jamais assez pour intercepter entiérement la contiguité des parties propres d'un volume d'air un peu considérable ; & cet élément, tant qu'il fait masse conserve toujours son ressort, qui paroît être, comme nous l'avons dit ci-dessus, la principale cause de sa fluidité.

Toute matiere qui appartient à la terre a une tendance naturelle vers le centre de cette planete. Or comme l'atmosphere est composée d'air, & d'un extrait, pour ainsi dire, de tous les corps sublunaires, dont nous avons prouvé la pesanteur dans les Leçons précédentes, on ne peut douter qu'elle ne pése sur nous & sur tout ce qui s'y trouve plongé comme nous : on en a douté cependant, ou plutôt, on a été très-long-temps sans y faire attention. Nous avons dit ailleurs * de quelle maniere enfin l'on s'en est convaincu, & comment la connoissance du poids de l'atmosphere a éclairé les Physiciens sur plusieurs phénoménes qui en résultent.

* Tome I. p. 190. & suiv.

XI. LEÇON. Mais cette pesanteur est celle d'un fluide ; elle doit donc croître & diminuer selon la hauteur des colonnes & la largeur de leur base ; c'est aussi selon cette proportion qu'elle agit, comme on l'a déja vû dans la septieme Leçon, où nous avons rapporté l'origine du barométre, ses principaux usages, & l'épreuve qu'on en fit dans les différentes stations de la montagne du Puy de Dome en Auvergne : je rapporterai encore ici une expérience du même genre, & d'une exécution plus facile, qui me donnera occasion d'exposer ce qu'il me reste à dire sur cette matiere.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut faire choix de quelque lieu élevé & accessible, comme d'une tour, d'un clocher, ou de quelque autre édifice, dont on puisse aisément mesurer la hauteur perpendiculaire, & se munir de deux barométres bien semblables ; c'est-à-dire, que dans le même lieu le mercure soit toujours dans l'un & dans l'autre à des hau-

teurs pareilles. On laisse un de ces instrumens au pied de la tour avec un Observateur qui examine attentivement, s'il n'arrive point de variation à la hauteur du mercure, pendant qu'on porte l'autre en haut.

Effets.

1°. A mesure qu'on s'éleve avec le barométre, le mercure s'abaisse dans le tube, comme je l'ai déja dit * en rapportant l'expérience de M. Pascal, exécutée au Puy de Dome par M. Perrier.

* *Tome II. page 300.*

2°. Si, lorsque le mercure s'est abaissé d'une ligne, on mesure la hauteur de l'endroit où l'on fait cette premiere station, on trouve qu'elle est d'environ 12 toises.

3°. Si l'édifice ou la nature du lieu permet que l'on s'éleve davantage à des hauteurs connues ou mesurables, on trouve que les stations suivantes, qui se font à chaque fois qu'on observe une ligne d'abaissement au mercure, sont toujours à-peu-près de 12 toises les unes au-dessus des autres.

4°. On remarque que les hauteurs perpendiculaires de toutes ces sta-

XI. LEÇON.

tions, dont chacune répond à une ligne d'abaissement du mercure, sont d'autant plus petites que l'air pése davantage dans le temps de l'expérience, soit par le peu d'élévation du lieu où l'on opere, soit par l'état actuel de l'atmosphere.

5°. Si l'on répéte cette épreuve dans des lieux qui ne soient que médiocrement éloignés les uns des autres, & dans des circonstances qui rendent la pression de l'atmosphere à-peu-près semblable, on trouve aussi à-peu-près les mêmes résultats; mais lorsque les distances sont très-grandes, comme de 400 ou 500 lieues, on peut s'attendre à des différences assez considérables.

EXPLICATIONS.

L'atmosphere ayant plus de hauteur à compter du raiz-de-chaussée d'une tour, ou du pied d'une montagne, qu'elle n'en a à toutes les stations que l'on fait en montant, son poids est aussi plus grand; & s'il est capable de soutenir d'abord 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans chaque barométre, celui des deux que l'on por,

te plus haut se trouve sous une colonne d'air plus courte, qui, par conséquent soutient moins de mercure. Cette diminution de poids dans la colonne de l'atmosphere ne peut être attribuée qu'à son raccourcissement; car le barométre de comparaison, qu'on a laissé dans le lieu le plus bas, & qui soutient une colonne entiere, soit qu'il varie, ou qu'il ne varie pas pendant l'expérience, se trouve toujours plus haut que l'autre, & suivant les proportions marquées dans les résultats ci-dessus.

Par le second & le troisiéme de ces résultats, on voit que chaque ligne d'abaissement du mercure dans le barométre répond environ à 12 toises de hauteur perpendiculaire dans l'atmosphere : ce rapport nous donne l'air plus pesant que nous ne l'avons estimé dans la Leçon précédente; car nous avons dit que sa densité ou pesanteur spécifique est à celle de l'eau, à-peu-près comme l'unité est à 900 : & comme le mercure pese 14 fois autant que l'eau, il suit qu'une ligne de mercure équivaut à 14 fois 900 lignes d'air dont la somme 12600 fait

XI. LEÇON.

15 toises 4 pieds 6 pouces & 8 lignes, au lieu de 12 toises dont nous venons de faire mention dans les résultats précédens.

Mais il faut observer aussi, que de tous ceux qui se sont appliqués à cette recherche par des expériences soigneusement faites en différens temps, & en différens lieu, il en est bien peu qui s'accordent à conclure le même rapport. M. Cassini, après avoir porté le barometre sur la montagne de Notre-Dame de la Garde près de Toulon, évalue à 10 toises & 5 pieds la hauteur de l'air qui soutient une ligne de mercure. M. de la Hire le pere la trouva de 12 toises, par des épreuves qu'il fit sur le Mont-Clairet, dans le voisinage de la même Ville; ce même Académicien la jugea de 12 toises 4 pieds à Meudon, & de 12 toises 2 pieds 8 pouces à Paris. Selon les observations de M. Picart faites au Mont Saint Michel, une ligne de différence dans la hauteur du mercure au barométre, répond à 14 toises 1 pied & 4 pouces d'air. Enfin M. Vallerius *, savant Suédois, qui répéta ces expériences dans son pays

* *Hist. de l'Acad. des Scienc.* 1712. p. 3. & *suiv.*

après avois obſervé les diverſes hauteurs d'un barométre qu'il deſcendit d'abord dans une mine très-profonde, & qu'il porta enſuite au ſommet d'une montagne voiſine, compta pour chaque ligne de mercure 10 toiſes 1 pied & 4 lignes de hauteur dans l'atmoſphere. M. de la Hire* le fils attribue toutes ces différences à deux cauſes principales: 1°. à des couches de vapeurs, qui peuvent régner dans certaines parties de l'atmoſphere, & qui en augmentent pour un temps la peſanteur; ce qui paroît très-vraiſemblable: 2°. à la ſituation des lieux où l'on fait ces expériences, ou à la peſanteur actuelle plus ou moins grande de l'atmoſphere; & en effet, on voit par le quatriéme réſultat que la portion d'une colonne d'air qui répond à une ligne de mercure, eſt d'autant plus grande ou plus petite, que cet air eſt plus ou moins denſe; & la denſité ou le poids d'un fluide compreſſible, croît à meſure qu'il eſt plus chargé, ſoit par ſa propre matiere amoncelée, ſoit par des parties étrangeres qui s'y mêlent.

*Mém. de l'Acad. des Scienc. 1712. p. 114.

On peut ajouter encore pour troi-

XI. LEÇON.

siéme raison, (& c'est peut-être la plus forte ;) on peut, dis-je, ajouter qu'il est très-difficile d'estimer au juste chaque ligne d'abaissement du mercure dans le barométre ; cependant les plus petites erreurs dans cette estimation sont d'une grande conséquence, lorsqu'il s'agit de juger avec exactitude de la hauteur d'une colonne d'air correspondante. Car puisque le mercure ne s'abaisse que d'une ligne pour un retranchement d'environ 12 toises fait à la colonne d'air, on peut aisément se tromper de quelques toises sur celle-ci ; il suffit pour cela qu'il y ait un mécompte d'un $\frac{1}{12}$ de ligne dans l'observation du barométre. Ceux qui connoissent bien cet instrument, conviendront sans peine que l'observateur le plus attentif peut fort bien commettre de pareilles fautes, non-seulement à cause de quelque défaut de mobilité qui peut empêcher le mercure de se remettre dans un parfait équilibre avec l'atmosphere après ses balancemens, mais encore à cause de la convexité de sa surface & des petites réfractions occasionnées par l'épaisseur du verre, & qui peuvent tromper l'œil.

Puisque l'atmosphere est un fluide compressible, on ne peut pas supposer que sa densité soit uniforme ; on doit penser au contraire, que les couches supérieures, pesant sur celles qui sont au-dessous, resserrent & condensent de plus en plus leurs parties ; & conséquemment à ce principe, les différentes stations où l'on observe en montant, une ligne d'abaissement dans le mercure du barométre, doivent se trouver toujours de plus en plus éloignées les unes des autres. C'est ce qu'on observe en effet : mais jusqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toises au-dessus du niveau de la mer, les différences sont peu considérables, apparemment parce que la grande quantité de vapeurs grossieres dont l'air est chargé dans cette basse région, & le grand poids qui le presse, rendent sa densité presque uniforme. Mrs. Cassini & Maraldi, après un grand nombre d'expériences faites sur diverses montagnes dont ils avoient mesuré géométriquement les hauteurs, jugerent que les portions retranchées d'une colonne de l'atmosphere pour plusieurs

XI. Leçon.

lignes d'abaissement du mercure au barométre, croissent suivant cette progression, savoir, que si la premiere ligne de mercure répond à 61 pied d'air,.il y en a pour la seconde 62, pour la troisiéme 63, & ainsi de suite. Mais ils ont pensé avec raison, que cette proportion ne continue point au-delà d'une demi-lieue au-dessus du niveau de la mer; car alors, l'air étant plus pur, son ressort est plus libre, & ses différens degrés de densité ne dépendent presque plus que de la pression des couches supérieures & du degré de froid qui y regne.

Applications.

Si l'on a pesé la colonne de mercure d'un barométre dont le tuyau soit parfaitement cylindrique; on sait aussi-tôt quel est le poids de la colonne totale de l'atmosphere qui la tient en équilibre; & l'air du cercle qui fait sa base est un espace connu qu'on peut multiplier autant de fois qu'on voudra, pour savoir quelle est la pression de l'atmosphere, sur un espace donné à la surface de la terre;

un exemple rendra ceci plus intelligible.

Suppoſons que le tube du barométre ait deux lignes de diamétre intérieurement, & que le mercure qu'il contient peſe une livre; cela m'apprend que dans le même lieu où eſt le barométre, tout eſpace circulaire qui a deux lignes de diamétre, comme l'ouverture du tuyau, ſe trouve chargé d'une colonne d'air qui peſe une livre; & cette preſſion ſe fait contre une porte de même que ſur une table; parce que c'eſt ici le poids d'un fluide, qui agit dans toutes ſortes de directions, comme nous l'avons enſeigné en traitant de l'hydroſtatique.

Suppoſons maintenant qu'on voulût ſavoir combien peſe l'atmoſphere ſur une eſpace circulaire d'un diamétre trois fois plus grand que le précédent; ce dernier eſpace eſt 9 fois plus étendu que le premier: car les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres, & le quarré de 3 eſt 9. Je dirai donc: Puiſqu'une colonne de l'atmoſphere, dont la baſe a deux lignes de diamétre, peſe

XI. LEÇON.

une livre ; une autre colonne qui s'appuie ſur un eſpace 9 fois plus grand peſe 9 livres : & l'on pourra ſavoir ainſi quelle eſt la preſſion de l'atmoſphere, ſur tout eſpace dont on connoîtra l'étendue.

Quelques curieux, fondés ſur ce principe, ſe ſont propoſé de chercher quel eſt le poids de toute l'atmoſphere ; mais ce qu'ils ont pû ſavoir à cette égard, tient à des hypotheſes dont les unes viſiblemeut fauſſes, les autres très-incertaines, ont rendu leurs laborieux calculs preſqu'inutiles. Et en effet quelle connoiſſance peut-on tirer d'un pareil travail, ſi l'on ignore quelle eſt au juſte l'étendue de la ſurface de la terre ; ſi l'on néglige de tenir compte de la hauteur de ſes inégalités ; ſi l'on conſidere l'atmoſphere, comme un fluide d'une denſité uniforme dans ſes parties ſemblables ; ſi l'on n'a point égard aux effets de la force centrifuge qui réſulte du mouvement de la terre ſur ſon axe, &c ? On voit aſſez combien il ſeroit difficile de ſaiſir avec juſteſſe tous ces élémens ; mais cette queſtion n'étant heureu-

ſement

sement que de pure curiosité, la solution qu'on pourroit se flatter d'en avoir, ne mérite pas la peine qu'elle exige.

XI. LEÇON.

On fera du barométre une application plus heureuse & plus utile, si l'on s'en sert pour mesurer la hauteur des montagnes; car suivant les expériences qui furent faites par MM. Cassini, Maraldi, & Chaselles en Auvergne, en Languedoc, & en Roussillon *, il paroît que depuis le niveau de la mer jusqu'à une demi-lieue de hauteur, ou peut compter environ 10 toises d'élévation pour chaque ligne d'abaissement du mercure, en ajoutant un pied à la premiere dixaine, 2 pieds à la seconde, 3 pieds à la troisieme, & ainsi de suite.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1703. p. 229. & s.

On voit bien que pour mettre ce moyen en usage, il faut savoir à quelle hauteur se tient actuellement le mercure au bord de la mer pendant que l'on opere; & c'est ce que l'on peut savoir facilement par un barométre de comparaison qu'on y laisse avec un Observateur attentif. Il n'est pas même besoin que ce barométre & cet Observateur soient au

XL. LEÇON.

bord de la mer ; il suffit que l'observation se fasse dans un lieu dont on connoisse l'élévation au-dessus du niveau de la mer ; & c'est ce qu'il n'est point rare de trouver maintenant dans presque tous les Etats. La salle de l'Observatoire Royal de Paris, par exemple, où l'on fait perpétuellement les observations du barométre, & dont on tient un état tous les ans, est de 45 toises au-dessus de la Méditerranée, & de 46 au-dessus du niveau de l'Océan ; & le mercure s'y tient toujours pour cette raison, environ 4 lignes plus bas qu'on ne l'observe au bord de ces deux mers.

Je suppose donc que l'on ait porté un barométre au sommet d'une montagne dont la hauteur soit inconnue ; si l'on trouve le mercure 10 lignes au-dessous du terme où il seroit sur le bord de la mer, en comptant d'abord dix toises pour chaque ligne de mercure, on aura 100 toises, auxquelles ajoutant un pied pour la premiere dixaine, 2 pieds pour la seconde, 3 pieds pour la troisieme, & ainsi de suite jusqu'à la dixiéme inclusivement, on aura encore 55 pieds

qui font neuf toises & un pied ; ainsi l'on conclura 109 toises & un pied, pour la hauteur de la montagne au-dessus du niveau de la mer. XI. LEÇON.

Il est vrai que cette méthode ne donne point des mesures précises, & qu'en l'employant on ne peut gueres compter que sur des à-peu-près : 1ment, parce que les expériences sur lesquelles elle est fondée, ayant varié dans leurs résultats, ne déterminent pas avec précision la hauteur qui répond à une ligne de mercure ; en second lieu, parce qu'il est très-difficile de juger avec tout l'exactitude qui seroit nécessaire, de combien le barométre a baissé lorsqu'il est parvenu au plus haut de la montagne ; & enfin, parce que pendant l'opération, il peut arriver quelque changement dans les parties de l'atmosphere qui couvre le lieu où l'on opere. Mais combien y a-t-il d'occasions où les mesures géométriques ne peuvent être employées, & où l'on peut se contenter de connoître ces hauteurs à 10 ou 12 toises près ?

Une des vûes que l'on pourroit avoir encore en faisant usage du ba-

XI. LEÇON.

rométre, ce seroit de connoître l'étendue de l'atmosphere, en déterminant la hauteur de cette colonne d'air qui soutient celle du mercure, & dont nous avons appris ci-dessus à mesurer le poids; il semble qu'on en pourroit aisément venir à bout, si l'air de l'atmosphere, comme de l'eau ou comme tout autre liqueur, étoit par-tout d'une densité uniforme; car en supposant qu'une ligne de mercure répondît toujours à 10 toises de cette colonne, elle devroit avoir autant de fois 10 toises que l'on compte de lignes dans 28 pouces, hauteur moyenne du barométre au niveau de la mer. Or il y a 336 lignes dans 28 pouces, ce qui donneroit 3360 toises pour la hauteur totale de l'atmosphere: mais le fluide dont il s'agit est une matiere compressible; & par cette raison, les parties semblables de cette colonne étant prises les unes au-dessus des autres, ne doivent pas peser également, ou (ce qui est la même chose,) toutes ces portions, pour être de même poids, doivent avoir des longueurs différentes; les plus basses seront plus courtes que celles qui sont au-dessus.

Cette difficulté cependant n'empêcheroit pas qu'on ne vînt à bout d'évaluer par cette méthode la hauteur de l'atmosphere, si l'on savoit au juste dans quelle progression l'air se raréfie, à mesure que sa masse diminue, & qu'il se trouve moins chargé par son propre poids : si l'on étoit certain, par exemple, que sa densité augmentât & diminuât comme les poids qui le compriment, & que cette regle établie par M. Mariotte pût être suivie à toutes sortes de hauteurs. Mais bien loin de pouvoir compter sur cette supposition, on sait, par un nombre suffisant d'observations & d'expériences, que l'air ne se raréfie & ne se comprime ainsi que dans une densité moyenne, & que dans les cas extrêmes il suit une autre progression que l'on ne connoît point assez, & qui, telle qu'elle puisse être, doit varier suivant certaines circonstances. Plus ou moins de chaleur ou de pureté dans une région où nos observations ne peuvent s'étendre, suffit pour causer des changemens assez considérables à la pesanteur de l'atmosphere, & à sa hauteur : on ne

XI. LEÇON.

peut, sans incertitude, juger de l'une par l'autre, (je veux dire, de la hauteur par le poids,) quand on ignore quel est l'état actuel de l'air dans toute son étendue.

Un corps à ressort que l'on a comprimé fortement avec un certain nombre de poids égaux, lorsqu'on vient à le décharger peu-à-peu, se déploye par des quantités qui vont toujours en augmentant, & qui suivent d'abord une progression assez réguliere; mais sur la fin, lorsqu'on ôte les derniers poids, le dévelopement ou l'extension du ressort se fait dans des rapports beaucoup plus considérables. Comme l'air est un fluide élastique, on doit présumer que dans les hautes régions, où il est bien moins chargé par son propre poids, que par-tout ailleurs où nous pouvons faire des épreuves, il s'étend aussi beaucoup davantage, ce qui doit donner à l'atmosphere une hauteur plus grande qu'elle n'auroit, si nous en devions juger par les quantités qui répondent ici bas à une ligne d'abaissement du mercure dans le barométre.

D'ailleurs on doit faire attention,

qu'à une plus grande diſtance du centre de la terre, la peſanteur diminue ; & la force centrifuge augmente : ces deux cauſes concourent encore à diminuer le poids de l'air, & à faciliter ſa raréfaction dans la partie la plus élevée de l'atmoſphere.

De ces différentes conſidérations, & des expériences faites avec le barométre il ſuit, que notre atmoſphere ne peut pas avoir moins que 6 lieues d'étendue en hauteur ; il ſuit auſſi, (& c'eſt l'opinion commune) que cette même hauteur peut être de 15 ou 20 lieues : quelles différences ! & combien nous ſommes encore peu inſtruits ſur cette queſtion !

M. de la Hire touché de cette incertitude, & déſirant une ſolution moins vague, ſe propoſa de connoître la hauteur de l'atmoſphere, en faiſant uſage d'une méthode indiquée par Kepler, mais qu'il perfectionna & ſçut employer plus heureuſement que cet Aſtronome, Ce qu'on appelle *crépuſcule*, cette lumiere qui commence le jour avant que le ſoleil ſoit levé, & qui le fait durer encore quelque temps après que cet aſtre eſt couché,

XI. LEÇON.

est un effet de la réflexion causée par l'atmosphere aux rayons qui, sans cela, passeroient au-dessus de cette partie de la terre que nous habitons, & ne l'éclaireroient point : cette lumiere réfléchie qu'on apperçoit sensiblement dans le climat de Paris, lorsque le soleil n'est pas plus bas que 18 degrés au-dessous de l'horizon, commenceroit plus tard le matin, & finiroit plutôt le soir, si l'atmosphere avoit moins d'étendue, parce qu'alors les rayons de lumiere pourroient partir d'un point plus élevé vers l'horizon, sans rencontrer cette masse fluide qui les renvoye vers la terre. Il y a donc un rapport nécessaire entre la durée des crépuscules & la hauteur de l'atmosphere ; & comme la premiere de ces deux choses est connue ou facile à connoître, dans toutes les positions de la sphere, on voit qu'elle peut généralement conduire à découvrir l'autre. En effet M. de la Hire & M. Halley, en maniant cette méthode avec uue adresse & des précautions dont il faut lire le détail dans leurs propres ouvrages *, ont conclu avec assez de vraisemblance

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1713. p. 54.

vraisemblable la hauteur de l'atmósphere de 15 ou 16 lieues ; je dis avec assez de vraisemblance, & non avec certitude, parce que leur doctrine tient encore à quelques hypotheses, qui pourroient bien n'être pas précisément d'accord avec la nature.

Si l'on connoissoit bien la hauteur de l'atmosphere pour chaque climat, on sauroit quelle est la figure de toute sa masse ; car une suite de colonnes, qui depuis l'équateur jusqu'aux pôles, seroient rangées dans un même plan, formeroient, par leurs extrêmités, une courbe d'où résulteroit la solution du problême. Mais comme il reste des doutes sur la premiere de ces deux questions, la seconde demeure encore indécise, au moins pour ceux qui ne veulent se rendre qu'à des raisons tout-à-fait évidendentes.

Sur les observations de M. Richer à la Cayenne, & sur celles qui furent faites à-peu-près dans les mêmes temps avec le barométre en différens climats, on conjectura que la hauteur de l'atmosphere augmentoit de plus en plus, depuis l'équateur jusqu'aux

XI. Leçon. pôles ; parce que le mercure se tient plus haut dans les pays septentrionaux que sous la ligne équinoxiale & aux environs. Suivant cette conjecture l'atmosphere formeroit donc, avec la terre qu'elle enveloppe, un sphéroïde allongé vers les pôles, & son épaisseur seroit moindre à l'équateur que par-tout ailleurs.

Mais sans donner atteinte aux observations du baromètre, qui ne se sont point démenties depuis, & qui ont été même réiterées en dernier lieu avec toute l'exactitude possible, ne pourroit-on pas conjecturer tout autrement qu'on n'a fait touchant la figure extérieure de l'atmosphere ? en jugeant de ses hauteurs, par ses différens degrés de pression, a-t-on pû négliger d'avoir égard à la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, & qui est commun sans doute à l'air qui l'environne ? Une pareille considération a fait conclure que les parties de notre globe, pour être en équilibre entr'elles, avoient dû s'arranger sous la forme d'un sphéroïde plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, comme nous l'avons ex-

pliqué ailleurs*. Ne peut-on pas dire la même chose, & avec plus de raison encore, d'un fluide plus disposé par sa nature à se prêter aux loix de la statique, & à celles des forces centrales? Il y a donc beaucoup d'apparence que l'air est plus haut entre les deux tropiques qu'il ne l'est par-tout ailleurs, parce que cette partie de l'atmosphere tourne avec plus de vitesse, & que la force centrifuge y agit plus fortement & plus directement contre la pesanteur.

XI. Leçon.

* Tome II. page 151.

On peut ajouter aussi, que sous la Zone torride, où il regne une chaleur plus grande & plus continuelle, au moins vers la surface de la terre, l'air doit y être plus raréfié, & que les colonnes par conséquent doivent augmenter en longueur, pour être en équilibre avec celles d'un autre climat. Si le mercure du barométre s'y tient plus bas que dans le nord, on ne peut point douter que l'air n'y soit moins pesant; mais cette moindre pesanteur vient-elle de ce que les colonnes sont moins hautes, ou bien doit-on s'en prendre aux causes que je viens d'exposer? Le dernier parti

me paroît le plus vraisemblable.

XI. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mêler de la glace pilée ou de la neige avec du sel dans un vase de verre ou de métal fort mince, qui soit bien essuyé en dehors, & que l'on tient environ un quart-d'heure dans un lieu frais.

EFFETS.

Tous les dehors du vaisseau se couvrent peu-à-peu d'une espece de frimas ou de gelée blanche assez semblable à celle qu'on voit le matin sur les toîts & à la surface de la terre, vers la fin de l'automne ou au bord de l'hyver.

EXPLICATIONS.

Le mêlange de glace & de sel refroidit considérablement les parois du vase qui le contiennent : ce refroidissement condense aussi-tôt l'air extérieur le plus prochain & les particules d'eau dont cet air est chargé, étant condensées aussi par la même

cause, s'appliquent & se gélent contre le vase; à la premiere couche il s'en joint une autre, à celle-ci une troisieme, &c. ce qui fait que cette congélation extérieure s'épaissit plus ou moins, selon la durée & l'intensité du froid artificiel qui la cause. | XI. LEÇON.

Si l'on étoit tenté de croire que cet effet n'est qu'une transpiration de ce qui est dans le vase, on seroit bientôt désabusé de cette erreur en goûtant la glace extérieure; car on la trouveroit insipide & bien différente de ce qu'elle devroit être, si elle se formoit d'eau salée.

Pour dissiper entiérement ce préjugé, avant que de refroidir mon vase avec le mêlange de sel & de glace, je le place dans un autre vase de verre, & j'empêche que l'air extérieur ne puisse entrer dans le peu d'intervalle qui se trouve entre lui & l'autre; & alors quel que soit le refroidissement, je n'apperçois aucune congélation autour du vase enfermé: celle qu'on y voit lorsqu'il ne l'est pas, ne peut donc être attribuée qu'à l'humidité de l'air extérieur.

XI. Leçon.

III. EXPERIENCE.

Preparation.

La *Fig.* 1. représente un ballon de verre bien transparent, de 9 à 10 pouces de diamétre, qui n'a jamais été rempli d'aucune liqueur & qui est joint avec le plus grand récipient de la machine pneumatique par un canal garni d'un robinet, de sorte qu'on peut ouvrir & fermer la communication entre les deux vaisseaux : la clef du robinet est percée de façon que, quand le récipient & le ballon ne communiquent point ensemble, celui-ci communique avec l'air extérieur ; le canal étant donc fermé, on épuise l'air du récipient, & l'on ouvre ensuite la communication entre le ballon & lui.

Effets.

Si le ballon est placé entre la lumiere & l'œil du spectateur, on y apperçoit une vapeur légere, qui tournoye, & qui se précipite vers le bas du vaisseau ; s'il rentre de nouvel air dans le ballon, & qu'on ouvre de

nouveau la communication, on voit aussi-tôt renaître la vapeur; & cet effet arrive autant de fois qu'on ouvre le robinet, pourvû que l'air soit encore suffisamment raréfié dans le récipient.

EXPLICATIONS.

Toutes les fois qu'on ouvre une communication entre deux capacités, dont l'une est vuide d'air, l'autre en étant pleine, ce fluide s'étend & se partage à toutes les deux, suivant le rapport qu'elles ont entr'elles, comme on l'a dit en parlant des fonctions de la machine pneumatique; c'est pourquoi, dans le ballon de l'expérience précédente, l'air se raréfie considérablement, dès que le vaisseau vient à communiquer avec le récipient que l'on a évacué. Mais comme les petits corps étrangers dont cette masse d'air est chargée ne sont pas de nature à s'étendre comme elle, ils demeurent isolés, ils sont abandonnés à leur propre poids, & au mouvement de l'air qui se porte de toutes parts vers le canal de communication, ce qui les fait tournoyer

en tombant en forme de vapeur.

XI. LEÇON.

Le même effet s'apperçoit toujours plus ou moins à tout récipient où l'on commence à faire le vuide ; & j'aurois pû me contenter de rappeller ce fait si familier à ceux qui font usage de la machine pneumatique, pour prouver que l'air est toujours mêlé de matieres étrangeres ; mais on auroit pû m'objecter que cette vapeur qui fait ici le fond de ma preuve, n'est dûe qu'à l'humidité du cuir mouillé qui couvre la platine, & sur lequel on applique le vaisseau : je dissipe ce soupçon quand je la fais voir dans un ballon bien net, & dans lequel il n'entre autre chose que l'air qui vient immédiatement de l'atmosphere : quiconque ne voudra pas se rendre à cette raison, en trouvera beaucoup d'autres encore dans un écrit * où j'ai traité exprès de cette matiere.

* Mém. de l'Acad. des Scienc. 1740. page 243.

On pourroit demander pourquoi les corpuscules qui forment la vapeur dont il s'agit, n'étant point visibles dans l'air de l'atmosphere, le deviennent aussi-tôt que ce fluide vient à se raréfier.

Il y a toute apparence que ces pe-

tits corps, dès qu'ils cessent d'être soutenus, retombent les uns sur les autres, & s'unissent pour former des masses plus grossieres, & par conséquent plus propres à être apperçues.

D'ailleurs c'est un fait que nous examinerons en traitant de l'optique, que la transparence des corps diminue, à mesure que leurs parties deviennent plus denses les unes que les autres : or quand cette masse fluide qui remplit le ballon vient à se raréfier, il n'y a que la densité de l'air proprement dit, qui diminue ; celle des autres matieres qui s'y trouvent mêlées, augmente au contraire, & ce double effet occasionné sans doute cette petite opacité qu'on apperçoit ; & qui ne manque pas de disparoître aussi-tôt qu'une raréfaction suffisante a donné lieu à l'air de se purifier, en se désaisissant entiérement de ce qu'il avoit d'étranger.

Applications.

On distingue communément en deux classes toutes les matieres qui s'élévent de la surface de la terre dans l'atmosphere ; l'une comprend sous

le nom de *Vapeurs* tout ce qui tient de la nature de l'eau; dans l'autre on range toutes les parties salines, sulfureuses, grasses & spiritueuses, & c'est ce qu'on appelle *Exhalaisons*.

Toutes ces substances, tant celles qui s'exhalent, que celles qui s'évaporent, étant différemment mêlangées ou modifiées, prennent des formes & produisent des effets qui varient beaucoup, & que l'on connoît sous le nom de *Météores*. On en peut distinguer de trois sortes; savoir, ceux qui sont produits par les vapeurs seules & que l'on appelle météores *aqueux*, comme le brouillard, les nuages, la pluie, la grêle, le frimas, &c. ceux que font naître des exhalaisons qui s'allument, & que l'on nomme météores *enflammés*; tels sont le tonnerre, les éclairs, les feux folets, &c. & ceux qui résultent des vapeurs & des exhalaisons combinées avec la lumiere, & qu'on peut appeller météores *lumineux*, comme l'arc-en-ciel, les parhélies &c.

Pour ne point faire une trop longue digression, je me contenterai de par-

courir ici les météores de la premiere espèce; & je remetrai à parler des autres dans les Leçons où je traiterai du feu & de la lumiere.

XI. Leçon.

Pendant le jour, les rayons du soleil échauffent en même temps & la terre & l'air qui l'environne. Lorsque cet astre est couché, la chaleur qu'il a fait naître se rallentit peu-à-peu; mais elle se conserve plus long-temps dans les corps qui ont plus de matiere, de sorte que pendant la nuit, la terre & les eaux sont communément plus chaudes que l'air de l'atmosphere. Alors la matiere du feu, qui tend à se répandre toujours uniformément à la maniere des autres fluides, passe de la terre dans l'air, & emporte avec elle les parties les plus subtiles des corps terrestres, qu'elle détache & qu'elle anime par son mouvement. Cette cause particuliere se joignant à celles dont nous avons fait mention* en parlant de l'élévation des vapeurs en général, fait que la partie de l'atmosphere la plus voisine de la terre reçoit une plus grande quantité de ces parties évaporées : de-là vient cette humidité qu'on apperçoit sensible-

* Tome I p. 110. & suiv.

XI. LEÇON.

ment sur les habits, lorsqu'on se promene à la campagne pendant les soirées fraîches du printemps & de l'automne, & que l'on nomme *le serein*. Ces sortes de vapeurs s'attachent plus promptement & en plus grande quantité aux taffetas & aux toiles fines qu'aux grosses étoffes, parce que celles-ci prenant plus lentement que les autres la température de l'air qui se refroidit, le feu qui continue de s'en exhaler emporte avec lui les particules d'eau qui se présentent à leur surface.

Le serein dure toute la nuit, dans les saisons & dans les climats où la terre s'échauffe suffisamment pendant le jour. Au soleil levant, la chaleur commence à renaître dans l'atmosphere, & l'air, en se dilatant, se dessaisit pour l'ordinaire de ces vapeurs, trop subtiles peut-être pour remplir ses pores, ou bien elles suivent la matiere du feu à laquelle elles sont encore unies, & qui retourne alors vers la terre. Les vapeurs qui retombent ainsi, s'appellent *rosées*; elles sont plus abondantes aux champs qu'à la ville, & dans les campagnes couver-

tes d'arbres & de plantes que dans les lieux arides; car il en tombe à proportion de ce qu'il s'en est élevé.

XI. LEÇON.

Il ne faut pas confondre cependant cette rosée qui tombe de l'air, avec celle qu'on remarque le matin sur les plantes. Ces gouttes qu'on voit à leurs tiges & sur leurs feuilles, sont des effets de la transpiration; & l'on peut aisément s'en convaincre, si l'on couvre un choux ou un pied de laitue pendant la nuit; car on y verra le matin la même rosée qu'on a coutume d'y voir lorsque ces plantes demeurent découvertes. Les particules d'eau qui forment ces gouttes viennent de la terre comme les autres, & sont élevées par la même cause; mais au lieu d'en sortir immédiatement comme par-tout ailleurs, elles enfilent des tiges, des branches, des feuilles, leur mouvement se rallentit, & elles demeurent plusieurs ensemble à l'orifice des petits canaux par lesquels elles transpirent.

Les Empiriques & les Alchimistes ont attribué de grandes vertus à la rosée; mais il paroît que toutes les merveilles qu'ils en ont annoncées,

XI. LEÇON.

n'ont pas plus de réalité qu'une infinité de chimeres dont ils ont coutume de repaître leur imagination, & la crédulité des ignorans.

Plusieurs Auteurs ont dit avec plus de fondement & de vraisemblance, que la rosée peut nuire aux animaux que l'on méne paître trop matin, & qu'elle peut diminuer la fécondité des terres lorsqu'elle est trop abondante : car quoique cette vapeur ne soit pour la plus grande partie que de l'eau, on ne peut nier qu'elle n'emporte avec elle d'autres substances qui varient, soit pour la quantité, soit pour la qualité, selon les lieux, selon les degrés de chaleur, & selon les plantes d'où elle transpire. Ce qui prouve bien que la rosée n'est pas de l'eau pure, c'est qu'elle se corrompt, & qu'elle dépose lorsqu'on la garde dans des bouteilles. On peut attribuer aussi à la rosée, ou au serein qui tombe, ces couches légeres de matieres grasses & sulfureuses qui se font remarquer par leurs couleurs d'Iris à la surface des eaux dormantes après plusieurs jours d'un temps serein, pendant lequel on ne voit tomber du ciel rien

autre chose qui puisse causer cet effet. XI. Leçon.

Il y a même des cas où la partie aqueuse de la rosée n'est pas la plus abondante : alors ce qui exsude de la plante ou de l'arbre, est un suc qui s'épaissit à mesure que l'humidité s'évapore ; telles sont certaines gommes & quelques especes de mannes dont la médecine fait usage,

Or puisque la rosée est une vapeur qui contient un extrait des matieres minérales ou végétales d'où elle sort, il n'est point douteux qu'elle ne puisse avoir des qualités bonnes ou mauvaises, selon la nature des principes dont elle est chargée. Mais comme en différens lieux il naît différentes plantes, que la nature y varie de même ses autres productions, & que la chaleur qui anime les exhalaisons n'est ni toujours ni par-tout également forte, on doit présumer que la rosée & le serein changent de qualités suivant les temps & les lieux, & que les effets dont l'une ou l'autre seroit capable en telle saison ou en tel climat, n'auroit pas lieu ailleurs, ou dans un autre temps. A Rome, & dans ses environs, par exemple, il

XI. LEÇON.

est dangereux, dit-on, de prendre l'air le soir; à Paris, on le peut faire impunément: c'est qu'ici le serein n'est presque autre chose qu'un peu d'humidité, au lieu qu'en Italie cette vapeur est chargée apparemment d'exhalaisons nuisibles, qui tiennent de la nature du terrein, & dont la quantité répond au grand chaud du climat; ainsi l'on ne peut gueres prononcer en général sur cette matiere.

Vers la fin de l'automne, quand les nuits commencent à être longues, la terre a plus de temps pour se refroidir, & très-souvent sa surface & les corps qui y sont isolés sont assez froids, pour glacer les particules d'eau dont la rosée tombante a coutume de les couvrir; alors au lieu d'humidité on apperçoit sur le gazon, sur les toîts des bâtimens, &c. une couche de petits glaçons fort menus que l'on nomme *Gelée blanche*, à cause de sa couleur, & qui ne manque pas de se fondre & de se dissiper dès que le soleil commence à faire sentir sa chaleur.

La rosée, ou la gelée blanche qui a été fondue, se dissipe de deux manieres; elle rentre dans les terres arides

ces & dans les corps poreux qui ont plus de disposition à l'absorber que l'air de l'atmosphere ; mais le plus souvent elle s'éléve de nouveau, soit qu'une médiocre raréfaction mette l'atmosphere en état de la pomper, soit qu'un vent fort doux y transporte un air plus sec que celui sous lequel elle étoit.

Assez souvent, quand la rosée remonte, elle diminue la transparence de l'atmosphere, parce qu'alors les parties de cette vapeur sont beaucoup plus grossieres, & qu'elles s'élévent plus lentement. Ces deux causes qui naissent l'une de l'autre, doivent nécessairement rendre l'air opaque ; 1°, parce qu'un corps transparent l'est d'autant moins que ses parties different davantage par leur densité, comme nous le prouverons par la suite : 2°, parce que la vapeur qui monte lentement, s'étend moins & devient plus dense.

Mais cette opacité que fait naître la rosée qui remonte, ne s'empare presque jamais d'une grande portion de l'atmosphere ; elle se cantonne, pour ainsi dire, & devient plus forte

XI. Leçon.

dans les lieux bas & humides, & au-dessus des prairies, que par tout ailleurs; parce que, comme nous l'avons déja dit, la rosée retombe à proportion de ce qu'il s'en éleve; & si le temps est calme, elle doit être plus abondante le matin, aux endroits qui en fournissent une plus grande quantité pendant la nuit. C'est par cette raison sans doute, qu'on ne voit gueres au-dessus des Villes & des lieux arides, l'atmosphere obscurcie par la rosée qui remonte, mais bien plus souvent au voisinage des rivieres, des étangs & des herbages.

Un préjugé généralement reçu & fondé sur les apparences, avoit établi, touchant la rosée & le serein, des idées bien fausses qui ont été dissipées dans ces derniers temps par MM. Gersten, Muschenbroek & Dufay. Le Lecteur qui ne voudra rien ignorer de ce que l'on sait sur cette matiere, doit parcourir leurs écrits, * où il trouvera un grand nombre d'expériences ingénieuses & d'observations aussi curieuses que nouvelles. De tous les faits qui y sont rapportés, celui qui surprend davantage, c'est

* *Christ. Lud. Gersten. tentam Francof.* 1733.
* *Essais de Phys.* p. 753.
* *Mém. de l'Académie des Sciences*, 1736. p. 352.

que le serein ou la rosée semble éviter certains corps, tandis qu'ils s'attachent facilement aux autres : le verre, la porcelaine, & quantité d'autres matieres se mouillent considérablement, tandis que des morceaux de métal poli, de quelqu'étendue qu'ils soient, exposés au même lieu, demeurent constamment secs ; & cette espece de préférence est si marquée, qu'un écu placé au milieu d'un grand plat de fayance, ou de verre, ne reçoit pas la moindre humidité, quoique le reste du vaisseau soit tout mouillé.

Une certaine disposition de l'atmosphere, & un concours de circonstances qu'il seroit fort difficile de marquer avec précision, déterminent quelquefois une grande quantité de vapeurs grossieres à s'élever à-peu-près comme la rosée qui remonte : alors ces vapeurs qui s'élévent à peine, s'étendent uniformément dans la partie basse de l'atmosphere, & la rendent opaque, tout le temps qu'elles y demeurent suspendues.

Toutes ces vapeurs flottantes & basses, tant celles qui viennent de la

XI. LEÇON. rosée du matin, que celles qui naissent dans d'autre temps, & d'une maniere différente, se nomment *Brouillards*. Ce n'est ordinairement que de l'eau; mais quelquefois il s'y mêle des exhalaisons qui se manifestent par leur mauvaise odeur, par une certaine âcreté qui prend aux yeux, & par le dommage qu'elles causent aux fruits & aux grains. Il regne en certaines années des brouillards ausquels on attribue la *nielle* & la *rouille*, maladies assez communes au froment & au seigle: (*a*) quelques sçavans ont rejetté sur ces mêmes causes, ce qu'on remarque à certains épis dont le grain devient noir & s'allonge en forme de corne, & que les Laboureurs appellent *Ergot* ou *Bled cornu*; la farine en est pernicieuse; on lui attribue une maladie qui régne quelquefois dans les campagnes, & qui est con-

(*a*) Voyez ce qu'ont écrit sur ce sujet MM. Duhamel du Monceau, & Tillet; le premier dans son ouvrage intitulé: *Traité de la culture des terres*, tom. II. p. 158 *& suiv. Ibid.* tom. IV. page 175, 263 *& suiv.* Le dernier dans sa Dissertation sur la cause qui corrompt & noircit les grains de bleds dans les épis &c. imprimée à Bordeaux en 1755. *in*-4°. pag. 41. *& suiv.*

nue sous le nom de *Feu Saint Antoine*; on prétend aussi qu'elle donne la gangrenne *.

XI. Leçon.

En hyver les brouillards sont plus fréquens qu'en été, parce que le froid qui regne dans l'air, condense promptement les vapeurs; & ne leur donne pas le temps de s'élever beaucoup; si le froid augmente, le brouillard se géle & s'attache aux branches des arbres, aux plantes seches, aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, & généralement à tout ce qui s'y trouve exposé; c'est ce qu'on appelle *Givre* ou *Frimas*.

* *Hist. de l'Ac. des Sc.* 1710. p. 61. *Jour. des Sc.* *Mars* 1676.

Quand les brouillards ou les vapeurs qui sont propres à les former, peuvent s'élever assez haut, il s'en fait des amas qui flottent au gré des vents dans l'atmosphere; ce sont ces *nuées* que nous voyons suspendues de côtés & d'autres au-dessus de nous, & qui nous cachent de temps en temps le soleil & les autres astres par leur opacité; leurs figures & leurs grandeurs varient à l'infini, selon la quantité des vapeurs qui les forment, & selon la maniere dont elles s'arrangent en s'unissant, ce qui dépend

beaucoup de la direction & des différens degrés de vitesse que les vents leur donnent.

XI. Leçon.

Les nuées ne sont pas toutes également élevées, parce que, comme il faut qu'elles soient toujours en équilibre avec l'air dans lequel elles flottent, & que ce fluide est plus rare à une plus grande distance de la terre, les vapeurs les plus subtilisées peuvent se soutenir où les plus grossieres se trouveroient trop pesantes; c'est pourquoi ces nuages épais qui sont prêts à fondre en pluie sont ordinairement fort bas. Ceux qui voyagent sur les hautes montagnes, comme celles des Alpes ou des Pyrénées, passent souvent au travers des nuages qui dérobent la terre à leurs yeux, après leur avoir caché le ciel, les moins attentifs ne manquent point d'observer qu'à ces hauteurs la terre est toujours fort humectée par les nuages qui viennent s'y briser, ce qui contribue beaucoup à entretenir ces torrens & ces sources qu'on voit si fréquemment au pied & aux environs de ces mêmes montagnes. Ainsi dans le temps même qu'il ne pleut

point, les nuées sont autant de voies d'eau que les vents distribuent en différentes contrées, & qui vont s'épuiser contre les montagnes, d'où elles se répandent ensuite dans les plaines par les canaux souterreins que la nature y a pratiquées. Mais les nuées ne s'épuisent pas toujours de cette maniere; le plus souvent elles s'épaississent, soit par l'action des vents qui les poussent les unes contre les autres, soit par la condensation de l'air qui les porte; & alors leurs parties réunies en gouttes deviennent trop pesantes, & font, en tombant, ce qu'on nomme *la Pluie.*

Lorsque cette condensation se fait lentement, ou que les vapeurs tombent seulement parce que l'air qui les soutient se raréfie, comme il arrive quelquefois après un brouillard du matin, les gouttes demeurent très-petites; la pluie qu'elles forment est très-fine, & se nomme communément *Bruine*. Au contraire, quand les vapeurs se condensent précipitamment, & dans une partie peu élevée de l'atmosphere, où l'air a plus de densité, les gouttes acquierent plus de grof-

XI. Leçon.

seur, & elles demeurent plus écartées les unes des autres, comme on l'observe presque toujours dans les pluies d'orage.

Les refroidissemens qui se font dans la région des nuages, non-seulement condensent les vapeurs & les convertissent en pluies ; il arrive souvent que le froid est assez considérable pour les geler : elles tombent alors ou en *neige* ou en *grêle* ; en neige si la congélation saisit les vapeurs avant qu'elles se soient réunies en grosses gouttes ; car ces glaçons infiniment petits s'unissant mal entr'eux, ne peuvent composer que des flocons fort légers : en grêle, si les particules d'eau ont le temps de se joindre avant que d'être prises par la gelée.

La grêle ne devroit jamais être naturellement plus grosse que des gouttes de pluie ; si l'on en voit quelquefois tomber qui égale en grosseur une noix ou un oeuf, c'est que plusieurs grains s'unissent ensemble en tombant ; ou bien lorsqu'ils ont reçu un degré de froid suffisant, ils gêlent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chûte ; & ils deviennent

nent comme les noyaux de plusieurs couches de glace qui augmentent beaucoup leur volume & leur poids. C'est pour cela que la grosse grêle est toujours fort anguleuse, & que les grains qui sont arrondis ne sont jamais d'une densité uniforme, depuis la surface jusqu'au centre.

XI. Leçon.

On a vû, quoiqu'assez rarement, tomber en forme de pluie ou de grêle, des matieres qui n'étoient point de l'eau. En 1695, il tomba en Irlande une pluie grasse & visqueuse qui demeura 14 ou 15 jours dans les endroits où elle s'étoit amassée, & qui devint noire en se séchant. Dans les mémoires de Breslaw *, il est fait mention d'une pluie de soufre qui mit l'allarme dans la ville de Brunswick. Les habitans de Copenhague, en 1649, ramasserent aussi du soufre dans les rues après une grosse pluie qui en avoit fortement l'odeur. Scheuchzer observa, en 1677, une poudre jaune qui tomba abondamment, & qu'on auroit volontiers prise pour du soufre; mais en l'examinant avec attention, il se détermina à croire que cette matiere venoit de la

* Octobre 1721.

XI. Leçon. fleur des jeunes pins, qui sont fort communs dans les environs du lac de Zurich, où il fit cette observation. On a vû des pluies de sable à une distance assez considérable de la mer; c'étoit sans doute un effet du vent ou de la tempête, comme les pluies de cendres & de pierres, si l'on peut les nommer ainsi, sont causées par les éruptions des volcans.

Au reste, quand il arrive de ces sortes de phénoménes, on doit, avant que de prononcer, les examiner avec beaucoup de circonspection, & ne point céder précipitamment aux premieres apparences; car ordinairement l'attention d'un observateur intelligent dissipe une fausse merveille, & dévoile une vérité obscurcie par les circonstances. Si l'on jugeoit, par exemple, sans autre examen, que tout ce qu'on apperçoit de nouveau sur la terre, après ou pendant la pluie, vient, comme les gouttes d'eau, de la nuée ou de l'atmosphere, on croiroit, comme le vulgaire, qu'il pleut quelquefois des crapauds, du sang, du grain, &c. Mais quand on sait que tous les animaux, jusqu'aux reptiles &

aux insectes, ont une génération réglée, & qui se fait toujours par les mêmes voies dans chaque espece ; que le crapaud, à-peu-près comme la grenouille, vient d'un frai trop gros & trop pesant pour s'élever comme les vapeurs ; & que la femelle qui le fait, & le mâle qui la féconde, ne peuvent se soutenir en l'air ; on trouve qu'il est plus raisonnable de penser, que tous ces petits animaux nouvellement éclos, & cachés sous des herbes ou ailleurs, sont déterminés par la pluie à sortir de leurs retraites, que de croire qu'ils viennent de naître fortuitement, & qu'ils ont pû tomber contre la terre la plus dure & la plus battue, sans s'écraser.

Des taches rouges, dont les murailles & les couvertures des maisons se sont trouvées teintes en différens temps, ont fait croire au peuple ignorant & préoccupé par la crainte, qu'il avoit plu du sang ; les Historiens * même n'ont pas manqué de transmettre à la postérité ces phénoménes effrayans, & de les joindre à des événemens contemporains, jusqu'à ce qu'enfin quelques Sçavans *

* *Plutarque, Dion, Tite-Live, Pline, &c.*

* *Peiresc. Mer. &c.*

XI. LEÇON.

plus attentifs remarquerent que la prétendue pluie de sang avoit marqué des endroits couverts, comme le dessous des entablemens des portes & des fenêtres, & qu'immédiatement après, l'air se trouvoit rempli d'une multitude innombrable d'insectes d'une même espece.

La premiere de ces deux observations prouve d'abord & sans réplique que les taches rouges n'étoient point les vestiges d'une pluie qui fût tombée d'en-haut. La seconde fit connoître avec le temps quelle étoit leur véritable origine : voici comment on expliqua le fait après un peu de réflexion.

Quand un papillon sort de sa chrysalide, il dépose toujours deux ou trois gouttes d'une sérosité rouge qui ressemble assez à du sang ; or il y a telle circonstance de temps, où il en naît un nombre prodigieux ; car cette espece d'insectes, comme la plûpart des autres, est extrêmement féconde, & si tous les oeufs venoient à bien, nous en serions fort incommodés : on se souvient encore du dommage que causa une seule espece

de chenille aux environs de Paris, pendant l'été de 1735 ; il ne resta point de légumes dans les marais, & jusqu'au gramen, tout fut rongé dans les jardins & dans les champs. Lors donc qu'un pareil nombre de chenilles devenues chrysalides se changent en papillons, combien ne doit-on pas voir de taches rouges, quand c'est une espece qui s'attache aux murs & aux bâtimens ; car il y en a beaucoup qui se mettent en terre, ou qui se branchent aux tiges des plantes, & alors on n'apperçoit presque point les traces de leur métamorphose.

Les pluies de grains n'ont pas plus de réalité que celles de sang. Il est vrai qu'on a vû quelquefois après une grosse pluie, la terre couverte d'une grande quantité de menus grains qui ont une sorte de ressemblance avec le froment : les paysans qui les ont ramassés, & qui ont essayé d'en faire du pain, n'ont pas manqué de croire qu'il étoit tombé du ciel ; & suivant la maniere de penser du peuple, ils en ont tiré des conjectures sur la disette ou sur l'abondance ; mais des

XI. LEÇON.

personnes plus éclairées, & moins susceptibles de préjugés, ont reconnu que ces grains étoient des petites bulbes, qui se forment en grande quantité aux racines d'une espece de renoncule qu'on nomme la *petite chelidoine*, & alors tout le merveilleux disparoît : car on sait que les racines de cette plante sont très-déliées, & à fleur de terre ; ce sont de petits filets rampans, qui se dessèchent, & qui disparoissent ; & leurs bulbes qui ont plus de consistance, demeurent isolées, & ressemblent un peu à des grains répandus sur la terre.

Comme les nuées sont des amas de vapeurs, il s'en fait plus que par-tout ailleurs au-dessus des mers & des grands lacs, où l'évaporation est plus abondante. C'est pourquoi, toutes choses égales d'ailleurs, les pluies sont plus fréquentes dans le voisinage des côtes, que dans le milieu des continens ou des grandes isles. En Hollande, par exemple, il y pleut communément davantage qu'aux environs de Paris ; & quand le vent est au Sud ou à l'Ouest, nous avons ordinairement un temps pluvieux à cau-

se de la Méditerranée & de l'Océan, dont nous ne sommes point fort éloignés.

XI. LEÇON.

On mesure continuellement à l'Observatoire Royal, la quantité de pluie qui tombe pendant le cours de l'année, comme on fait depuis longtemps en Angleterre, en Italie, en Hollande, & dans plusieurs villes d'Allemagne. Ces sortes d'observations se font par le moyen d'un vase quarré ou cylindrique, gradué par dedans selon sa hauteur, que l'on expose dans un lieu découvert, mais cependant à l'abri du vent. Chaque fois qu'il pleut, on marque sur un journal de combien de lignes l'eau s'est élevée dans le vaisseau; & au bout de l'année, en additionnant toutes ces quantités, on voit quelle est la somme totale de la pluie qui a tombé pendant les douze mois. En procédant ainsi, on a appris que dans les années moyennes il tombe à Paris environ 19 pouces d'eau; à Londres 37 pouces ½ mesure d'Angleterre, ce qui fait environ 35 pouces de France; à Rome 20 pouces; à Zurich en Suisse 32 pouces; à Utrecht 24 pouces *.

* *Environ 23 pouces mesure de France.*

XI. LEÇON.

La pluie purifie l'atmosphere, en précipitant avec elle toutes les exhalaisons qui s'y amassent pendant la sécheresse, & dont la trop grande quantité corromproit l'air, & causeroit des maladies épidémiques. On s'apperçoit sensiblement de cet effet, non seulement parce qu'on respire plus à son aise, mais encore parce que l'air devient plus transparent; les objets s'apperçoivent plus distinctement & de plus loin, & jamais les lunettes à longue vûe ne font aussi-bien qu'après une grosse pluie, & par un temps calme.

Un autre effet de la pluie, & qui nous est encore très-avantageux, c'est de rafraîchir l'air, & de modérer la chaleur, qui nous incommode souvent dans certaines saisons. On en reconnoît bientôt la cause quand on sait que la région des nuages est presque toujours beaucoup plus froide, que cette partie de l'atmosphere où nous sommes. C'est un fait que ne peuvent ignorer ceux qui ont vû la cime des montagnes couverte de neige, lorsqu'il fait encore assez chaud dans les lieux bas. Ainsi, quand il

pleut en été, c'est de l'eau froide qui se filtre au travers d'un air plus chaud qu'elle; celui-ci perd nécessairement une partie de sa chaleur.

XI. LEÇON.

Mais de tous les bons effets de la pluie, il n'en est pas dont nous ayons plus de besoin, & qui tourne plus directement à notre avantage que la part qu'elle a à la fertilité de la terre: quand elle manque trop long-temps, & que rien n'y supplée, tout devient aride dans les champs, & leur culture demeure sans succès; mais lorsqu'elle les arrose modérément, elle amollit la terre, elle entretient la souplesse des plantes, elle développe les germes, elle réunit les principes de la seve, & lui sert de véhicule pour l'introduire dans les racines, & pour la distribuer à la tige & aux branches.

Comme les vapeurs qui doivent retomber en pluie, élévent avec elles ou rencontrent dans l'atmosphere, les parties les plus subtiles de toutes ces substances que la nature fait entrer dans la composition des mixtes, les sels, les soufres, les huiles, &c. les nuages agités par les vents, transportent tous ces principes d'un lieu dans

XI. LEÇON.

un autre, & les distribuent de maniere qu'ils ne tarissent jamais. C'est donc pour leur donner le temps de se rassembler, qu'on laisse reposer les terres épuisées, ou qu'on y varie les semences : car une plante peut souvent se passer, de ce qu'une autre tire de la terre.

Les pluies peuvent avoir aussi de mauvais effets, comme elles en ont de bons : lorsqu'elles sont froides ou trop fréquentes, lorsqu'elles tombent hors de saison, elles retardent les progrès de la végétation, & la maturité des fruits ; elles pourrissent les moissons & font germer le grain sur les champs ; elles font périr le gibier ; elles gâtent les chemins ; elles rendent impratiquable la navigation des rivieres, par les débordemens & les inondations qu'elles causent ; & tous ces fâcheux effets incommodent le commerce & occasionnent la disette.

On voit assez souvent sur mer, & beaucoup plus rarement sur terre, un phénoméne surprenant & très-dangereux, qu'on appelle *Trombe* : c'est une nuée épaisse, qui s'allonge de haut en bas, en forme de colonne cylindrique

ou de cône renversé; elle jette autour d'elle beaucoup de pluie ou de grêle, & fait entendre un bruit semblable à celui d'une mer fortement agitée; elle renverse les arbres & les maisons par-tout où elle passe, & lorsqu'elle s'abat sur un vaisseau; elle ne manque gueres de le submerger. Les gens de mer qui connoissent ce danger, s'en éloignent le plus qu'ils peuvent; & quand ils ne peuvent éviter d'en approcher, ils tachent de la rompre à coups de canon, avant que d'être dessous pour prévenir l'inondation dont ils sont menacés. Peu d'observateurs ont eu le loisir d'examiner de près ces sortes d'accidens, & par cette raison, l'on n'est pas encore bien instruit de la maniere dont ils naissent. On croit *, avec assez de vraisemblance que la nuée déterminée à tourner par la double impulsion de deux vents contraires, & dont les directions sont paralleles, prend la forme d'un tourbillon d'eaux, qui s'allonge & s'élargit plus ou moins, suivant la vîtesse avec laquelle il tourne, & suivant l'étendue en hauteur des vents qui l'agitent.

XI. LEÇON.

* *Hist. de l'Acad. des Sc.* 1717. p. 5.

XI. LEÇON.

J'aurois encore bien des choses à dire touchant les météores aqueux ; mais je passerois les bornes que je me suis prescrites dans un ouvrage, où je me suis moins proposé de donner une histoire complette des effets naturels, que d'expôser les causes de ceux qui sont les plus connus & les plus intéressans : le lecteur qui désirera d'en savoir davantage pourra consulter les Auteurs * qui ont écrit sur cette matiere *ex professo*, & les Mém. des principales Académies, où l'on trouve un recueil d'Observations Météorologiques pour chaque année.

* *Stanhusius, Resta, Dechales, Gesten, Musch. &c.*

ARTICLE. II.

De l'Atmosphere considérée comme un Fluide en mouvement.

On observe principalement deux sortes de mouvemens dans l'air de l'atmosphere, l'un est une espece de frémissement imprimé aux parties de ce fluide. & qui les agite quelques instans, sans les déplacer ; (*a*) l'au-

(*a*) On pourroit dire contre cette définition que le bruit du canon casse les vitres d'un appartement voisin, ce qui ne peut se faire sans

tre eſt un déplacement ſucceſſif qui ſe fait d'un grand volume d'air, avec une vîteſſe ſenſible & une direction déterminée. Le premier de ces deux mouvemens s'appelle *ſon*; le dernier eſt ce qu'on nomme le *vent*.

Du Son en général.

Le ſon naît communément du choc ou de la colliſion de deux corps, dont les parties ébranlées font frémir comme elles, & de toutes parts juſqu'à une certaine diſtance, le fluide qui les environne; & ce frémiſſement ſe communique aux autres corps qui en ſont ſuſceptibles, & qui ſe rencontrent dans cette ſphere d'activité; de ſorte que la même cloche que l'on fait ſonner, peut ſe faire entendre à un nombre infini de perſonnes placées aux environs. On peut donc conſidé-

un déplacement ſenſible de la maſſe d'air qui les touche, & qui les enfonce; mais on verra aiſément par tout ce qui ſera expoſé dans cet article que cette commotion violente de l'air peut bien quelquefois accompagner le ſon ou le bruit, mais qu'elle ne lui eſt point eſſentielle, & qu'elle ne ſe rencontre pas dans les cas les plus ordinaires.

XI. LEÇON.

rer le son, 1°, dans le corps sonore; 2°. dans le milieu qui le transmet, 3°. dans l'organe qui en reçoit l'impression. On pourroit encore tenter de le suivre jusques dans l'ame qui en perçoit l'idée; mais c'est une entreprise qui appartient à la Métaphysique, & qui n'est point de mon ressort : j'en userai pour l'ouie, comme j'ai fait pour les autres sens; je me contenterai de conduire l'objet jusqu'à la partie de l'organe, où s'accomplit la sensation, & je me dispenserai d'examiner comment naissent les idées, à l'occasion de l'objet sensible.

Des Corps Sonores.

On appelle *Corps Sonores* proprement dits, ceux dont les sons, après le choc ou le frottement qui les fait naître, sont distincts, comparables entr'eux, & de quelque durée. Car on ne doit pas nommer ainsi ceux dont la chûte ou l'ébranlement ne fait entendre qu'un bruit confus ou subit, tels qu'un tombereau que l'on décharge, le murmure d'une eau courante, ou le mugissement des flots

agités. Or on remarque qu'il n'y a que les corps élastiques qui soient véritablement sonores, suivant cette définition; & que le son qu'ils rendent, est tojours proportionnel à leurs vibrations, soit pour la durée, soit pour l'intensité ou la force. XI. Leçon.

PREMIERE EXPERIENCE.

Preparation.

La *Fig.* 2. représente une cloche de verre suspendue fixement entre deux montans qui sont élevés sur une base; on frappe légérement plusieurs coups sur les bords de cette cloche, pour la faire sonner; & aussi-tôt on fait avancer la vis *A* qui a son écrou dans l'épaisseur du montant: & on la fait avancer, jusqu'à ce que le bout soit fort près de la cloche sans la toucher.

Effets.

On entend un petit frémissement du verre contre la pointe de la vis, & ce bruit dure autant que le son de la cloche subsiste.



XI. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On attache à deux points fixes une corde de clavecin ou de vielle, qui a environ deux pieds de longueur, & avec un curedent ou une épingle, on appuie dessus le milieu pour la mettre en jeu.

EFFETS.

Pendant que la corde résonne, on l'apperçoit sous la figure d'un parallélogramme *BCDE*, *Fig.* 3. & cette figure cesse avec le son, dès qu'on la touche avec le doigt, ou avec quelqu'autre corps solide.

EXPLICATIONS.

On peut regarder une cloche comme une suite de zones circulaires, dont les diamétres décroissant suivant une certaine proportion, sont représentés par les lignes ponctuées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, *Fig.* 4. & chaque zone, par rapport à son épaisseur, comme un anneau plat composé de plusieurs circonférences concentriques,

centriques, *Fig.* 5. Ce que je dirai d'un de ces anneaux plats, doit s'entendre de toutes les zones.

XI. LEÇON.

Si la matiere de la cloche n'étoit point poreuse, toutes les circonférences concentriques qui composent la largeur d'un anneau, & qui font l'épaisseur de la cloche, seroient autant de lignes pleines & sans interruption, comme les représente la *Fig.* 5. Mais comme les parties qui les composent, laissent entr'elles de petits intervalles, ces anneaux sont représentés par la *Fig.* 6. d'une maniere plus conforme à la nature.

Maintenant qu'on se rappelle ce que nous avons dit * en expliquant le mouvement réfléchi : « Qu'une boule » élastique qui tombe sur un marbre, » perd sa figure sphérique, & ne la » reprend qu'après avoir été quelque » temps un ellipsoïde, dont le grand » diamétre est de deux fois une, ho» rizontal & ensuite vertical ». Il suit de-là que quand on frappe extérieurement le bord d'une cloche qui est un anneau élastique *a*, *b*, *c*, *d*, *Fig.* 7. il devient alternativement ovale sur deux sens; & c'est en cela même que

* Tome I. p. 311.

XI. LEÇON.

consistent ses vibrations. Ainsi la même partie de la cloche *a*, par exemple, se portant d'*f* en *g*, & de *g* en *f*, successivement avec une grande vîtesse, heurte autant de fois le bout de la vis, & fait entendre ce frémissement qui a été le principal effet de la premiere expérience.

Mais cet anneau circulaire ne peut devenir ovale qu'à deux conditions : 1ment. Il faut qu'à deux endroits opposés de sa circonférence, les petites lames, ou les petits filets qui le composent, se plient d'abord davantage, & ensuite moins qu'*ils* ne le font, lorsqu'ils composent un cercle : 2ment. Il est nécessaire qu'aux endroits de la plus grande courbure, celles de ces parties qui forment les couches extérieures, s'écartent les unes des autres, plus qu'elles ne le font dans leur état ordinaire.

Quant à la corde tendue, il faut aussi se souvenir de ce que nous en avons dit * en parlant des loix du ressort : « Que ses vibrations qui nous la « font voir sous la figure d'un paral- » lélogramme, (parce qu'elles sont toujours très-promptes, & que les

* Tome I. p. 309.

impressions qui nous la représentent, faisant un angle en-haut, subsistent encore au fond de l'œil, lorsqu'il en naît d'autres qui nous la font voir, faisant un angle en-bas ;) » que ces » vibrations, dis-je, se font en con- » séquence de la réaction de toutes » les petites fibres, dont elle est com- » posée. » Car lorsque cette corde devient angulaire, elle est plus longue que quand elle tend en droite ligne d'un point fixe à l'autre. Il faut donc que ses moindres parties s'écartent un peu les unes des autres, pour se prêter à cet allongement, & qu'elles se rapprochent, pour se réduire dans la premiere longueur.

Ainsi dans la corde, comme dans la cloche, lorsqu'on excite le son, je conçois deux sortes de vibrations, les unes que j'appellerai *totales*, parce qu'elles sont du corps sonore tout entier, je veux dire, celles qui rendent les zones de la cloche ovales, de circulaires qu'elles sont, & qui nous font voir une corde de violle ou de clavecin sous la figure d'un parallélogramme; les autres que je nommerai *particulieres*, qui appar-

XI. LEÇON.

tiennent aux parties insensibles, & qu'on peut regarder comme les élémens des premieres.

On avoit toujours cru que les corps étoient sonores par leurs vibrations totales; mais on s'est désabusé de cette fausse idée, & c'est principalement à MM. Perault, Carré & de la Hire, qu'on doit cette correction. Le dernier de ces trois Académiciens prouve par une expérience bien simple, que le son consiste essentiellement dans les vibrations particulieres des parties insensibles : » Que l'on tienne, dit-il, * une pincette suspen» due sur le doigt, & qu'avec l'autre » main on presse les deux branches » pour les laisser échapper ensuite; el» les se mettent en vibrations; mais » elles demeurent muettes: au lieu » de les mettre en jeu de cette ma» niere, qu'on frappe dessus avec un » doigt ou avec quelqu'autre corps » solide, elles feront encore des vi» brations comme dans la premiere » épreuve; mais pour cette fois elles » auront un son très-intelligible: qu'y » a-t-il de plus ici, sinon un tremble» ment dans les parties du fer, & que

* Voyez les Mém de l'Ac. pour l'année 1716. p. 264.

« l'on sent quand on y porte douce- XI.
» ment la main ? » Leçon.

C'est donc à des parties qui frémissent que le son doit être attribué ; & après cette expérience on doit être persuadé, que toutes les fois qu'il sera possible de séparer ces deux especes de vibrations, on n'aura jamais aucun son avec celles que nous appellons totales ; mais quand celles-ci naissent des autres, (& c'est le cas le plus ordinaire) quoiqu'elles ne fassent point le son par elles-mêmes, elles en réglent cependant la force, la durée & les modifications.

APPLICATIONS.

L'EXPLICATION des deux expériences précédentes peut servir à rendre raison de plusieurs faits qui ont rapport à cette matiere, & qui méritent attention. Pourquoi, par exemple, fait-on les cloches d'un métal composé d'étain & de cuivre rouge ? C'est que tout métal composé est plus dur, plus roide, & par conséquent plus élastique que les métaux simples qui entrent dans le mélange : & comme les corps sonores le sont d'autant plus

XI. LEÇON.

que leurs parties ont plus de ressort ; on allie la matiere des cloches & des timbres pour en tirer plus de son. La plûpart des sonnettes cependant ne sont que de cuivre ; mais c'est un mauvais cuivre, un métal devenu aigre, que les ouvriers appellent *Potain* : comme cette matiere est fort roide & cassante, elle est plus sonore que ne seroit un cuivre neuf & plus doux qu'on nomme *Rosette*. Quand on fait des sonnettes d'argent pour les cabinets, elles ne peuvent avoir qu'un assez mauvais son, si le métal est sans alliage, ou si l'on n'y supplée, en le forgeant à froid, ce qui lui donne plus de ressort.

On fait subitement cesser le son d'une cloche, en la touchant avec la main ou avec quelqu'autre corps, parce qu'on interrompt les vibrations. C'est pour cela que les timbres des horloges, lorsqu'ils sont couverts de neige, ne sonnent que sourdement, ainsi que les tambours que l'on couvre d'étoffe dans les cérémonies lugubres. Par la même raison une cloche fendue ne peut continuer ses vibrations, parce que les bords de la

fente se heurtent réciproquement, & font, l'un à l'égard de l'autre, ce que pourroit faire un corps étranger qui toucheroit la cloche. Le son seroit probablement moins interrompu, si au lieu d'avoir une simple félure, la cloche étoit entr'ouverte de la largeur d'un travers de doigt ou davantage. On peut remarquer encore que les Horlogers ont toujours soin que les marteaux des timbres soient relevés subitement après le coup par un ressort, afin que le même corps qui a excité le son ne l'altere pas, en restant trop long-temps appliqué au corps sonore.

Puisque le son n'est jamais qu'une suite de vibrations, on doit concevoir qu'il n'y en a point qui soit absolument continu; s'il nous paroît tel, c'est que le silence d'une vibration à l'autre est trop court pour être apperçu. Rien n'est plus propre à faire sentir cette vérité qu'un instrument à anche, comme le haut-bois ou la musette: une anche est composée de deux lames à ressort & fort minces, de métal, de bois, ou de quelque autre matiere; elles sont jointes par

XI. LEÇON.

un bout, & forment ensemble un petit tuyau ; par l'autre bout elles sont plattes, & s'approchent de fort près sans se toucher. Lorsque le souffle de la bouche ou le vent d'un soufflet met l'anche en jeu, les deux lames battent l'une contre l'autre avec une vîtesse extrême, & rendent un son qui paroît aussi continu que celui d'une flûte ou d'un violon. Cependant puisque ce son vient des coups multipliés d'une lame sur l'autre, il est incontestable qu'il y a un petit intervalle entre les battemens, & que le son qu'elles rendent n'est point continu.

C'est une méchanique assez semblable à celle d'une anche, qui fait la voix de la plûpart des insectes ; car c'est une erreur de croire que le bourdonnement des mouches, le cri des cigales, celui des sauterelles & des grillons, vienne de la bouche de ces petits animaux, ou des organes par lesquels ils prennent leur nourriture : dans les uns c'est un certain battement des aîles ; dans les autres, c'est le jeu d'une espece de tambour, qu'ils ont quelquefois dans le ventre ; comme la cigale, & d'autres fois sur le dos

dos vers le corcelet, comme il eſt aiſé de l'obſerver à certaines ſauterelles qui ſe retirent dans les buiſſons, & qui n'ont point d'aîles.

XI. LEÇON.

Mais le ſon doit-il toujours ſon origine au choc ou aux battemens de deux corps ſolides, comme celui d'une cloche qui eſt frappée par un marteau, ou celui d'une corde qui eſt pincée avec l'ongle, ou avec le bout d'une plume? Les fluides ne ſeroient-ils point ſonores par eux-mêmes? ou bien ceux-ci frappés par des corps durs, ne ſeroient-ils pas capables de rendre des ſons!

On ſait à quoi s'en tenir ſur ces queſtions, quand on réfléchit un peu ſur certains effets qui ſe préſentent journellement. Un coup de fouet qu'un charretier ou un poſtillon fait retentir, le bruiſſement d'une petite planchette qu'un enfant fait tourner rapidement au bout d'une ficelle, le ſifflement d'une baguette que l'on ſecoue avec une grande vîteſſe, qu'eſt-ce autre choſe que le ſon de l'air frappé par un corps dur! Dans tous ces cas, & dans une infinité d'autres, c'eſt donc un fluide qui réſonne, &

XI. LEÇON.

dont les parties se mettent en vibrations pour avoir été choquées par un corps solide. Dans le son d'un sifflet, ou d'une flûte, je ne vois rien autre chose qu'un certain volume d'air qui part de la bouche du joueur pour frapper une autre masse d'air contenue dans l'instrument : car je pense que les vibrations du bois n'y entrent pour rien, (si ce n'est peut-être pour transmettre, avec plus ou moins d'éclat, le son qui est déja formé.) Ce qui me fait croire que les vibrations de la flûte ne participent point à la formation des sons qu'elle rend, c'est qu'on la tient & qu'on la touche pendant qu'elle est en jeu, & que ses vibrations, si elle en avoit, cesseroient par ces attouchemens. L'instrument ne sert donc, pour ainsi dire, que de mesure & d'enveloppe au volume d'air sur lequel on souffle ; & l'on peut dire que tous les cas qui ressemblent essentiellement à celui-ci, sont autant d'exemples de sons rendus par des fluides qui s'entrechoquent.

Il y a des gens, comme on sait, qui cassent un verre à boire par le son de leur voix, en présentant l'ouver-

ture de la coupe devant leur bouche. Ce n'eſt pas, comme l'ont cru certaines perſonnes peu au fait de cette matiere, en prenant un ton aigre & diſſonant, ni comme l'a prétendu un Auteur * (qui a fait une diſſertation entiere ſur ce fait) que l'air agité par la voix pénétre le verre, & le force de s'ouvrir. C'eſt au contraire en prenant l'uniſſon du verre, & ſeulement en forçant la voix; car alors on augmente la grandeur des vibrations totales, & par conſéquent celles des vibrations particulieres d'où elles réſultent : mais comme ces dernieres ne peuvent ſe faire, ſans que les parties du verre s'écartent les unes des autres, lorſqu'elles deviennent trop grandes, l'écartement de ces parties va juſqu'à ſéparation ou ſolution de continuité, & alors le verre tombe en pieces; en un mot la voix forcée fait ſur le verre, ce que fait un archet que l'on traîne trop fort ſur une chanterelle. C'eſt encore ici un exemple du ſon excité, ou du moins augmenté, dans un corps ſolide par le choc d'un fluide.

XI. LEÇON.

* *Morhoff. de Siph. vitr. per cert. humanæ vocis-ſonum fracto.*

XI. LEÇON.

Du MILIEU qui transmet les sons.

Les vibrations d'un corps sonore se passeroient dans un parfait silence, s'il n'y avoit entre lui & nous quelque matiere capable de recevoir & de transmettre cette espece de mouvement ; car tel est l'ordre de la nature, qu'un corps n'agit point sur un autre, s'il ne le touche par lui-même ou par quelque matiere interposée ; & de tous ceux qui ont imaginé des exceptions à cette loi générale, on peut dire qu'aucun n'en a encore donné des preuves suffisantes. Mais quand bien même le corps sonore agiroit sur une matiere, la propagation du son n'auroit pas encore lieu, si cette matiere inflexible ou trop molle n'étoit capable de s'animer du même mouvement que lui. Voici donc deux conditions également nécessaires & suffisantes dans le milieu qui doit transmettre le son : 1ment, il doit avoir une certaine densité, afin que ses parties agissent assez fortement & assez librement les unes sur les autres : 2ment, il doit être élastique, parce que le mouvement

de vibration naît du reſſort des parties. Les expériences qui vont ſuivre ſerviront de preuves à ces deux propoſitions.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On établit ſur la platine d'une machine pneumatique, *Fig.* 8. un petit mouvement d'horlogerie, qui, lorſqu'il eſt en jeu, fait mouvoir deux marteaux qui battent alternativement ſur un timbre. Cet inſtrument eſt monté ſur une baſe de plomb, qui eſt garnie par-deſſous d'un couſſinet rempli de coton ou de laine (*a*); on couvre le tout d'un récipient qui eſt garni par en haut d'une boîte à cuirs: la tige de métal qui paſſe à travers, ſert à détendre le petit levier *F*, pour mettre le rouage en mouvement, auſſitôt qu'on a raréfié l'air du récipient le plus qu'il eſt poſſible.

EFFETS.

Si l'air eſt ſuffiſamment raréfié, &

(*a*) Cet inſtrument eſt repréſenté plus en grand, *Tome I. 3e Leçon*, *Pl.* 2. *Fig.* 5.

XI. LEÇON.

que la tige de la boîte à cuirs ne touche plus au levier de la détente, on voit battre les marteaux ſans entendre aucun ſon ; mais ſi l'inſtrument touche à la platine, au récipient ou à quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors, comme la tige qui a ſervi à détendre le levier, on entend un peu le tact des marteaux.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut fixer une montre à réveil ſur une platine de plomb épaiſſe de 4 à 5 lignes, que l'on couvre enſuite d'un petit récipient dont on lute les bords ſur le plomb avec de la cire molle : on ſuſpend enſuite cet aſſemblage avec 4 fils qu'on réunit au-deſſus du récipient, pour le plonger dans un grand vaſe cylindrique qui contient environ 30 pintes d'eau, que l'on a purgée d'air. *Voyez la Fig.* 9.

EFFETS.

Lorſque le réveil vient à ſonner, on l'entend quoiqu'il ſoit environné de pluſieurs pouces d'eau de toutes


5.


Fig. 6.

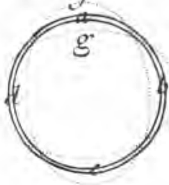

Fig. 7.
f
a
g


Fig. 3.
C
D
E.

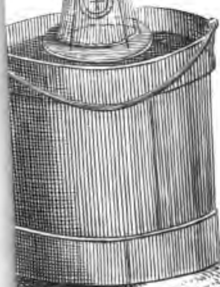
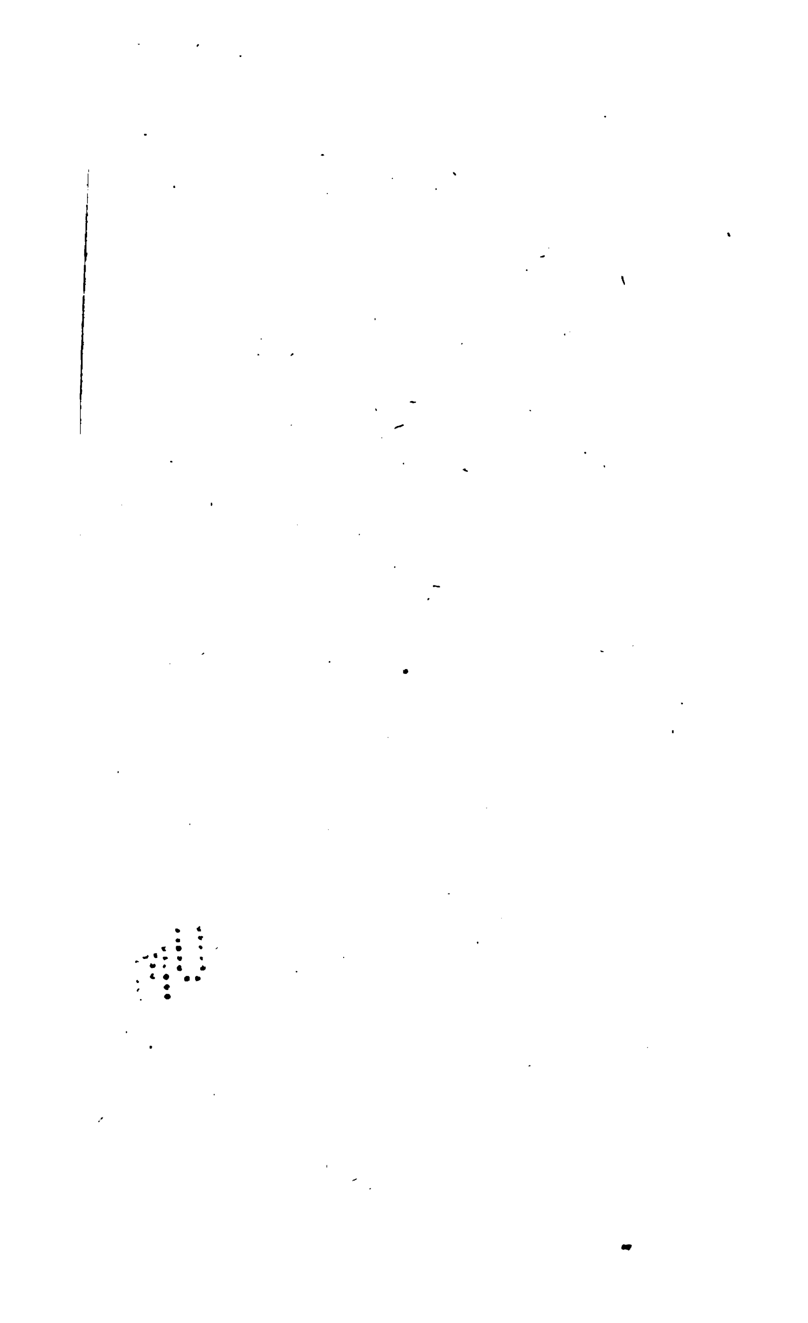

Fig. 9.


Fig. 1.







parts; mais le son paroît fort affoibli.

EFFETS.

Un timbre qui fait ses vibrations dans le vuide, ne les peut communiquer à rien; par conséquent, puisqu'elles n'operent le son que quand elles se transmettent, elles doivent se passer dans le vuide avec un profond silence. A la vérité il n'y a point un vuide absolu dans le récipient de notre expérience; mais l'air qui y reste est si raréfié, que ses parties alors trop lâches n'ont point assez de réaction. Il manque à ce fluide la premiere des deux conditions que nous avons marquées ci-dessus, c'est-à-dire, une densité suffisante qui mette les parties en état d'agir fortement les unes sur les autres.

On dira peut-être qu'au défaut de l'air grossier, il y a toujours dans ce vaisseau une matiere plus subtile, ne fût-ce que celle de la lumiere ou du feu; mais apparemment que cette matiere, telle qu'elle soit, n'est point propre à la propagation du son, soit que son ressort ne soit point analogue à celui des corps sonores, soit que

XI. LEÇON.

ceux-ci n'ayent point de prise sur elle; à cause de l'extrême facilité avec laquelle elle pénétre tous les corps.

Cette expérience du timbre ou d'une sonnette dans le vuide, si connue & tant répétée dans les colleges, a fait conclure à bien des gens, que l'air est le seul milieu propre à la propagation du son. Qu'il y soit propre & plus qu'un autre, cela n'est point douteux; qu'il soit le seul, je crois que c'est trop dire. Car pourquoi cette même expérience ne réussit-elle pas au gré de ceux qui la font, quand ils n'ont pas soin d'isoler le corps sonore, ou d'empêcher qu'il ne touche immédiatement la platine, le récipient ou quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors! n'est-ce point parce que le son se transmet par les corps solides qui ont communication d'une part avec le timbre, & de l'autre avec l'air extérieur?

D'ailleurs la quatrieme expérience ne nous laisse, ce me semble, sur cela aucun doute. Si le son ne pouvoit se transmettre que par l'air, pourquoi l'entendroit-on lorsque le corps sonore enfermé par le verre & par le

plomb, se trouve plongé dans un vase plein d'eau ! n'est-on pas forcé de reconnoître que le son se communique du réveil à l'air qui l'environne, de l'air au récipient, du récipient à l'eau, & de l'eau à l'air extérieur !

Dira-t-on que cette communication ne se fait point par les parties propres du verre & de l'eau, mais par celles de l'air qu'ils contiennent, & qui se trouve naturellement dans tous les corps.

J'ai prévenu cette objection en me servant d'eau purgée d'air : & quand on m'objecteroit encore, que l'on n'ôte jamais tout l'air qui est dans l'eau ; j'aurois à répondre que j'en ai ôté une grande partie, & que si cet air contribuoit nécessairement à la propagation du son, je devrois au moins trouver une différence sensible, en répétant la même expérience avec pareille quantité d'eau non-purgée d'air ; ce que je n'ai cependant jamais apperçu, quelqu'attention que j'aye apporté.

Si quelque raison pouvoit faire douter que les parties de l'eau fussent capables par elles-mêmes de transf-

XI. LEÇON.

mettre les sons, ce seroit l'opinion où l'on est communément, que les liqueurs ne sont point compressibles; car si cela étoit à la rigueur, elles n'auroient pas de ressort; & tout corps qui n'est point élastique, n'est point susceptible d'un mouvement de vibration.

Mais sur quel fondement a-t-on cru jusqu'ici que les liqueurs étoient incompressibles? C'est parce que les Académiciens de Florence, & plusieurs autres Physiciens qui les ont éprouvées à cet égard, n'ont jamais pu restraindre leur volume par compression. Mais cela suffit-il pour établir sans restriction que les liquides sont incompressibles? n'auroit-on pas conclu plus sagement, que si elles se compriment par les efforts que nous sommes en état d'employer contre elles, c'est d'une si petite quantité, que leur volume n'en diminue jamais sensiblement?

Aucun fait connu ne prouve donc l'incompressibilité absolue de l'eau; j'ai exposé ailleurs * des raisons qui combattent fortement cette opinion; & il me semble que notre derniere ex-

* Tome I. p. 122. & s.

périence achéve de la détruire : car si l'eau transmet le son, elle est élastique ; & si elle est élastique, il faut qu'elle soit compressible.

APPLICATIONS.

PUISQUE le son se transmet par les corps solides, comme le prouvent d'une maniere incontestable les précautions qu'il faut prendre, pour faire réussir la premiere des deux expériences précédentes ; on ne doit plus être aussi surpris d'un fait qui amuse les enfans, & qui intéresse l'attention des personnes les plus sérieuses ; c'est d'entendre distinctement le choc d'une épingle contre l'extrémité d'une longue poutre, lorsqu'on a l'oreille à l'autre bout : car à cause de la contiguité des parties, ce choc est rendu à l'air qui touche le bout opposé de la piece de bois. Il est cependant toujours bien singulier que le bruit perde si peu de sa force pour parvenir à une si grande distance, tandis qu'à peine peut-il être entendu à travers l'épaisseur de la même poutre ; c'est apparemment parce que les fibres longitudinales du bois sont bien moins inter-

XI. LEÇON.

rompues par leur porosité, que ne l'est l'assemblage de ces mêmes fibres qui fait l'épaisseur de la piece.

Non-seulement le son excité dans l'eau se transmet à l'air de l'atmosphere, mais aussi celui qui naît dans l'air passe dans l'eau, & y fait sentir toutes ses modifications. J'ai eu la curiosité de me plonger exprès à différentes profondeurs dans une eau tranquille, & j'y ai entendu très-distinctement toutes sortes de sons, jusqu'aux articulations de la voix humaine.

Il est vrai que tous ces sons étoient fort affoiblis, sans doute parce que les parties de l'eau, beaucoup moins flexibles que celles de l'air, ne peuvent avoir des vibrations ni si amples ni d'une si longue durée: mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que cet affoiblissement se fait presque tout entier au passage de l'air dans l'eau; car à trois pieds de profondeur, j'entendois presqu'aussi bien qu'à trois pouces.

C'est une question parmi les Naturalistes de savoir si les poissons ne sont pas sourds comme ils sont muets; & quoique les plus habiles * s'en

* Pline,

Boyle, Arthedi, Rondelet, &c.

ſoient mêlés, elle eſt encore indéciſe, au grand étonnement du vulgaire, qui juge toujours ſur les premieres apparences, & ſur l'analogie la moins approfondie. « Tous les autres animaux entendent; pourquoi » les poiſſons n'entendroient-ils pas? » Les poiſſons fuyent comme les oiſeaux quand on fait du bruit: les » uns comme les autres en ſont donc » effarouchés? » Mais le vulgaire ne ſait pas qu'on ne connoît point d'oreilles aux poiſſons, ni rien qui en faſſe l'office; il ignore auſſi qu'on a coutume de regarder l'eau qui eſt leur élément naturel, comme incapable de reſſort, & que dans cette ſuppoſition, on ſeroit bien fondé à la croire imperméable au ſon. Si le poiſſon fuit quand on fait du bruit, il faut être bien aſſuré qu'il n'a pû appercevoir aucun mouvement qui l'ait déterminé à fuir; & je ſais par moi-même que ce n'eſt point une choſe fort aiſée à décider, pour quelqu'un qui eſt en garde contre le préjugé (*a*)

(*a*) Voyez dans les *Mémoires préſentés à l'Académie Royale des Sciences, par les Savans*

XI. LEÇON.

Quoi qu'il en soit, si le poisson n'entend point les sons qui viennent de l'air, l'empêchement ne vient pas de l'eau, puisqu'elle les transmet; je ne regarde point non plus comme une raison qui établisse absolument sa surdité, un défaut d'oreilles semblables à celles des autres animaux: cet organe, dans le poisson, pourroit être tout autrement constitué qu'il ne l'est dans les animaux qui respirent l'air; que sait-on si ce sens n'est point universel pour eux, comme le toucher l'est pour nous? ce qui me fait hazarder ce soupçon, c'est qu'ayant plongé avec moi des corps sonores, le bruit ou le son que j'ai fait naître dans l'eau, m'affectoit tout le corps par une certaine commotion très-sensible, ce qui vient sans doute de la grande solidité des parties de l'eau. (*a*)

Par quelque milieu que le son se

Etrangers, tom. 2. p. 164. un Mémoire de M. Geofroi, Docteur en Médecine de la Faculté de Paris, qui est le commencement d'un excellent travail sur cette matiere.

(*a*) Voyez les expériences que j'ai faites *sur la transmission des sons dans l'eau*, Mémoire de l'Académie des Sciences, 1743. p. 119.

transſmette, il employe un temps qui eſt ſenſible, lors même que la diſtance eſt aſſez médiocre; bien différent en cela de la lumiere, dont la propagation ſe fait dans un inſtant très-court à des diſtances fort grandes. Cette différence eſt un moyen commode, & dont on n'a pas manqué de faire uſage pour meſurer la vîteſſe du ſon. Car ſi l'on fait tirer un coup de canon ou une boîte à une diſtance connue, on peut prendre ſans erreur ſenſible, l'éclat de lumiere qu'on apperçoit comme le ſignal du ſon naiſſant; & l'on comptera, par le moyen d'un pendule à ſecondes, le temps qui s'écoulera juſqu'à ce qu'on l'entende; ainſi le temps ſera connu comme l'eſpace, ce qui donnera la vîteſſe.

Cette expérience faite & répétée depuis long-temps par l'Académie del Cimento, par MM. Flamſteed, Halley, Derham, &c. avoit fait conclure la vîteſſe du ſon, de 180 toiſes meſure de France par ſeconde; mais il reſtoit encore quelque incertitude ſur les réſultats, ſoit parce qu'ils ne s'accordoient point parfaitement entr'eux, ſoit parce qu'on avoit employé

XI. LEÇON.

des distances trop peu considérables. En 1738, l'Académie des Sciences*, pour terminer avec précision une question qui peut être d'une application utile, soit pour la Géographie, soit pour la sûreté de la navigation, chargea MM. de Turi, Maraldi, & l'Abbé de la Caille, de faire à cet égard les expériences nécessaires, & avec les précautions les plus convenables au sujet. Ces Académiciens firent leurs opérations sur une ligne de 14636 toises qui avoit pour termes la tour de Montlhery, & la pyramide de Montmartre ; & voici quels en furent les principaux résultats.

* Mém. de l'Acad. des Scienc. 1738. p. 128.

1°. Le son parcourt 173 toises mesure de Paris en une seconde de temps, de jour ou de nuit, par un temps serein ou par un temps pluvieux. Le mouvemenr de la lumiere n'a donc point de part à la propagation du son ; & les vapeurs mêlées avec les particules de l'air n'interrompent point le mouvement de vibration.

2°. S'il fait un vent dont la direction soit perpendiculaire à celle du son, celui-ci a la même vîtesse qu'il auroit par un temps calme.

3°.

3°. Mais si le vent souffle dans la même ligne que parcourt le son, il le retarde ou il l'accélere selon sa propre vîtesse; c'est-à-dire, qu'avec un vent favorable le son parcourt 173 toises par seconde, plus la vîtesse du vent; & tout au contraire, si le vent est directement opposé. Et voilà pourquoi, lorsque le vent change de direction & de vîtesse, on entend du même lieu certaines cloches que l'on ne peut entendre dans d'autres temps. Ainsi connoissant la vîtesse du son accélérée par le vent, on pourra estimer la vîtesse propre du vent; car ôtant de la vîtesse accélérée 173 toises par seconde pour celle du son, le reste sera celle du vent.

4°. La vîtesse du son est uniforme, c'est-à-dire, que dans des temps égaux & pris de suite, il parcourt toujours des espaces semblables.

5°. L'intensité ou la force du son ne change rien à sa vîtesse: quoiqu'un son plus fort s'étende plus loin qu'un plus foible; celui-ci parcourt comme l'autre 173 toises par seconde.

Toutes ces connoissances, & les épreuves par lesquelles on les a acqui-

XI. LEÇON.

ſes, fourniſſent des moyens prompts & commodes, pour meſurer l'étendue des lieux où les opérations géométriques ne ſont point néceſſaires ou pratiquables, comme la largeur des lacs ou des rivieres à leur embouchure. Car puiſqu'après avoir apperçu la lumiere d'une arme à feu, chaque ſeconde de temps répond à une diſtance de 173 toiſes, c'eſt une choſe fort aiſée de ſavoir combien il s'eſt écoulé de ſecondes, juſqu'au moment où le bruit s'eſt fait entendre. Le même moyen peut être d'un grand ſecours dans un temps couvert, pour des vaiſſeaux qui craignent de ſe briſer contre les côtes; car ſi au lieu d'un fallot, qui en pareil cas ne ſe voit pas de fort loin, on faiſoit tirer de temps en temps quelques boîtes ou quelques coups de canon, cette lumiere, qui eſt beaucoup plus active & plus perçante, indiqueroit bien mieux l'endroit que l'on doit aborder ou éviter, & le bruit qui ſuccéderoit, en marqueroit la diſtance à des navigateurs attentifs.

Nous avons dit ci-deſſus, que les corps ſont d'autant plus ſonores qu'ils

ont plus de densité, & en même temps plus de ressort : il en est de même de tous les milieux qui transmettent le son ; & comme l'air est celui de tous, qui nous est le plus familier, nous nous y arrêterons par préférence.

V. EXPERIENCE.

Preparation.

A B, *Fig.* 10. est une planche fort épaisse sur laquelle sont élevés deux piliers *C*, *D*, qui reçoivent par en haut une traverse *E F*; cette derniere piece est assujettie par deux vis qui la font descendre autant qu'il est nécessaire, pour presser fortement un récipient de verre fort épais. Ce vaisseau repose d'une part sur des cuirs mouillés, & il est fermé par en haut avec une platine de métal, garnie aussi d'un cuir mouillé par dessous, de sorte que l'intérieur du récipient, lorsqu'il est serré dans son chassis, ne communique qu'avec la pompe foulante *G*, par un petit canal où l'on a pratiqué un robinet. Cette pompe est tout-à-fait semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus * en par-

* P. 231.

XI. LEÇON. lant de la fontaine de compreſſion; c'eſt-à-dire, qu'il y a au bout, immédiatement avant le robinet, une petite ſoupape qui permet que l'air ſorte de la pompe, mais non pas qu'il y revienne du récipient lorſqu'on reléve le piſton : ainſi le robinet étant ouvert, on peut condenſer l'air dans le récipient, autour d'une ſonnette qui eſt ſuſpendue de maniere qu'on peut la faire ſonner en balançant un peu le chaſſis.

Comme l'air fortement condenſé fait un grand effort, c'eſt une ſage précaution à prendre que de revêtir le vaiſſeau d'une cage d'un gros fil de fer, afin que s'il vient à crever, les éclats ne cauſent aucun dommage.

Pour condenſer l'air en proportions connues, il faut enfermer dans le récipient, un petit ſiphon renverſé dont la branche la plus longue ſoit fermée, & qui contienne, à l'endroit de ſa courbure, un peu de mercure, ou de liqueur colorée, *Fig.* 11. car à meſure que l'air deviendra plus denſe, en preſſant par la branche la plus courte qui eſt ouverte, il forcera la liqueur de monter dans l'autre, &

condenſera l'air *a b* autant qu'il le ſera lui-même : ainſi quand cette petite colonne d'air ſera reſſerrée dans un eſpace d'un tiers ou de moitié plus petit qu'auparavant, (ce qu'on appercevra par la graduation de la petite planche,) on jugera que l'air du récipient eſt condenſé d'un tiers, ou une fois davantage.

EFFETS.

Quand l'air a été condenſé dans le récipient, le ſon que rend la ſonnette eſt ſenſiblement plus fort qu'il n'a coutume d'être, lorſque l'air eſt dans ſon état naturel ; car alors on l'entend de plus loin.

EXPLICATIONS.

Puiſque le ſon conſiſte eſſentiellement dans les vibrations de toutes les parties qui compoſent le corps ſonore, il doit y avoir plus de ſon partout où il ſe trouve plus de parties ſonnantes, & un reſſort plus actif : or ces deux choſes ſe rencontrent, lorſque l'air eſt plus condenſé : ſes parties ſont plus ſerrées ; il y en a un plus grand nombre dans un eſpace donné,

XI. LEÇON.

& le reſſort de chacune de ces parties eſt plus tendu ; l'air, en cet état, doit donc être plus ſonore que quand il eſt plus rare.

Hauxbée, auteur de cette expérience *, ne s'eſt point contenté d'apprendre en général que le ſon devient plus fort, lorſqu'on augmente la denſité & le reſſort de l'air ; il a porté ſes recherches juſques ſur les proportions de cet accroiſſement. Avant que de condenſer l'air, il a marqué la diſtance à laquelle on ceſſoit d'entendre la ſonnette enfermée dans le récipient : puis l'ayant condenſé une fois plus que dans ſon état ordinaire, il trouva que le ſon s'étendoit à une diſtance une fois plus grande ; & qu'après avoir triplé la denſité de l'air, on entendoit la ſonnette de trois fois plus loin, &c.

Que falloit-il conclure de ces effets ? que le ſon augmente en raiſon directe de la denſité de l'air ? non, le rapport eſt plus grand ; car quand on entend la ſonnette à une diſtance double, il faut qu'à une diſtance de moitié moins grande, le même ſon ſoit quatre fois plus fort, & en voici la raiſon.

* *Tranſact. Phil. n. 321.*

Le corps ſonore communique de toutes parts ſes vibrations à l'air qui l'environne : ſon action ſe propage donc par des rayons de ce fluide qui vont toujours en s'écartant les uns des autres comme ceux d'une ſphere ; & l'oreille qui écoute devient la baſe d'un cône d'air animé par le corps ſonore qui eſt au ſommet. *Voyez la Fig.* 12.

Or c'eſt une choſe connue de tous ceux qui ont quelques notions de Mathématiques, que le cercle dont le diamétre eſt deux fois plus grand que celui d'un autre, renferme par ſa circonférence un eſpace qui a quatre fois plus d'étendue ; & pour exprimer cette proportion d'une maniere générale, les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres, ainſi le cône *a b c*, a une baſe quatre fois plus étendue que *a d e*, qui eſt une fois plus court ; car *d e*, diamétre de celui-ci, n'eſt que la moitié de *b c*, diamétre de l'autre ; & par conſéquent, ſi l'ouverture de l'oreille qu'on ſuppoſe circulaire, eſt d'un diamétre égal à *d e*, lorſqu'elle eſt placée à la 1re diſtance, elle reçoit quatre fois plus de rayons

XI. LEÇON.

sonores qu'elle n'en recevroit à la 2de. distance.

Par la même raison, elle en recevroit 9 fois moins à la 3me, 16 fois moins à la 4me : & comme 16 est le quarré de 4, 9 le quarré de 3, 4 le quarré de 2; on peut dire généralement que *le son décroît comme le quarré de la distance qui augmente.*

Mais puisqu'ayant doublé la densité & le ressort de l'air tout ensemble, on entend le son deux fois plus loin qu'auparavant; qu'avec un air 3 fois plus dense, & 3 fois plus élastique, on l'entend à une distance 3 fois plus grande; en suivant le principe que je viens d'expliquer, il faut que l'intensité du son soit, ou comme le quarré de la densité, ou comme le quarré de l'élasticité de l'air, ou bien comme le produit de l'une multipliée par l'autre. M. Zanotti * curieux de savoir laquelle de ces trois loix étoit celle de la nature, s'est enfin fixé à la troisieme, après des expériences autant ingénieuses que délicates, & dont il faut voir le détail dans ses ouvrages, ou dans les extraits qu'on en a faits.

* *De Bononiensi Scient. & Art. Instituto Commentarii*, p. 176.

APPLICATIONS.

APPLICATIONS.

IL suit de ces principes fondés sur l'expérience & sur le raisonnement, que les corps sonores doivent se faire entendre plus fortement par un temps froid que lorsqu'il fait fort chaud, puisqu'alors l'air est plus condensé, & qu'il a plus de ressort : mais cette augmentation de densité n'est point assez considérable apparemment pour avoir un effet sensible à l'égard des sons, ou bien comme ces changemens se font par degrés & lentement, ce qui en résulte pour l'augmentation ou pour l'affoiblissement des sons, ne se fait point remarquer.

Tout le monde connoît l'effet des trompettes parlantes, ou *porte-voix* : le Chevalier Morland, & ceux qui se sont appliqués comme lui à perfectionner cet instrument, semblent n'avoir eu en vûe que la direction des rayons sonores, & avoir rapporté à cette seule cause l'augmentation du son ; c'est pourquoi M. Hase veut qu'il soit composé de deux parties, dont une soit elliptique, & l'autre parabolique, *Fig.* 13. & qu'elles ayent un

XI. LEÇON. foyer commun en *b*, afin, dit-il, que les rayons partant de l'embouchure *a*, premier foyer de la portion elliptique, & étant réfléchis de tous les points *c*, *d*, *e*, *f*, &c. se croisent au foyer *b*, qui est commun à la portion parabolique, pour être ensuite réfléchis parallélement des points *h*, *i*, *k*, *l*, &c.

On ne peut nier assûrément que cette forme ou quelqu'autre peut-être encore plus avantageuse, ne contribue beaucoup à augmenter le son dans la direction *a g*, ou suivant l'axe de l'instrument; puisqu'il doit se trouver par ce moyen autant de mouvement dans la colonne d'air *i l m n*, qu'il y en auroit dans toute l'hémisphere, dont le centre seroit occupé par la bouche d'un homme qui parleroit sans porte-voix. Mais doit-on être satisfait de cette raison, quand on demande pourquoi à côté & derriere l'instrument, le son paroît encore si fort augmenté? Comme la réflexion du son suit les mêmes loix que celle de la lumiere, supposons que le porte-voix de M. Hase soit poli intérieurement comme un miroir, & plaçons en *a* un point radieux comme

une bougie ; que doit-il arriver ? la lumiere sera condensée, & il fera certainement plus clair en *m n*, qu'il n'y feroit sans le secours de l'instrument ; mais tous les environs, au lieu d'être plus éclairés, seront dans une grande obscurité. Il y a donc, à l'égard du son, quelqu'autre chose qu'un mouvement réfléchi en conséquence de la figure du porte-voix.

Oui sans doute, & l'on peut dire en général que le son augmente toutes les fois que le corps sonore imprime son mouvement à un air qui est appuyé ; la voix se fait mieux entendre dans les rues d'une ville qu'en rase campagne, & mieux encore dans une chambre close que dans la rue : c'est que les particules d'air qui ont été plus fortement pliées, font des vibrations plus grandes ; & l'air, comme tout autre ressort, se comprime d'autant plus, qu'il se déplace moins pendant que la puissance comprimante agit sur lui.

Mais cette augmentation du son causée par l'immobilité de l'air est encore plus sensible, quand c'est un corps dur qui arrête & qui soutient

XI. LEÇON.

les parties de ce fluide. Un Orateur se fait mieux entendre, quand il y a moins de monde pour l'écouter, & que le lieu où il parle n'est pas meublé ; car alors le son, au lieu de s'amortir, comme il fait en frappant des corps mols & sans réaction, revient sur lui-même, ou se porte d'un autre côté, suivant la maniere dont il est réfléchi. Voilà pourquoi le bruit du tonnerre, celui du canon ou d'un fusil, s'étend plus loin dans les vallées & le long des rivieres que dans le pays plat; & que dans les aqueducs & dans les autres souterreins voûtés, la voix la plus forte se porte intelligiblement d'un bout à l'autre. C'est encore par la raison d'un air immobile, (d'ailleurs fortement comprimé, & appuyé contre des parois fort dures) qu'un homme enfermé dans l'eau sous la cloche du plongeur, pensa s'évanouir par l'étonnement que lui causa le son d'un cornet ou petit cor qu'il essaya d'emboucher.* On doit expliquer par le même principe ce qui surprend les curieux dans des édifices où la voix la plus basse se fait entendre d'un angle à l'autre, sans que les assistans

* *Sturm. Colleg. Curios. T. II. Tentam. 1.*

qui sont placés par-tout ailleurs, puissent entendre un mot de ce qu'on dit; car ces angles sont ordinairement continués à la voûte, & ils contiennent une portion d'air qui ne se déplace point, & dans laquelle le son devient & se conserve plus fort; & la figure de la voûte occasionne des réflections telles qu'il les faut pour le transmettre.

Enfin quand la masse d'air qui reçoit le son, se trouve contenue par des parois qui étant dures, sont encore minces & élastiques, au premier effet dont je viens de parler, il s'en joint un autre; non-seulement le son augmente en dedans, parce que l'air intérieur est solidement appuyé; mais ce même son augmenté se transmet aussi à l'air extérieur, parce qu'l frappe un corps élastique & qu'il le met en jeu. Pour preuve de ceci, que l'on supprime, que l'on créve, ou qu'on lâche seulement l'une des peaux d'un tambour; en frappant sur celle qui reste, on n'en tirera pas autant de son qu'auparavant; d'où vient cette différence? c'est que l'air contenu dans la caisse n'a plus d'appui par en bas, au

XI. LEÇON.

lieu que quand il eſt appuyé ſur une peau bien tendue, il reçoit plus de mouvement, parce qu'il réſiſte davantage; & il le communique au-dehors, parce qu'il repoſe ſur un corps élaſtique.

Maintenant on voit bien pourquoi le ſon augmente non-ſeulement dans la direction du porte-voix, mais auſſi dans tous les environs; car cet inſtrument, comme on ſait, eſt fait de feuilles de métal fort minces, & par conſéquent très-propres à tranſmettre au-dehors le ſon qui augmente beaucoup au-dedans, parce que la maſſe d'air que la voix frappe, eſt contenue par des parois fort dures.

Ce que je dis du porte-voix peut s'entendre de tout autre inſtrument, même de ceux qui ſont à cordes: car pourquoi faut-il, par exemple, qu'un clavecin ou une baſſe de viole, ſoit une caiſſe de bois mince & élaſtique? c'eſt que ſans cela le ſon des cordes ſe communiqueroit à un air vague & ſans appui, qui échapperoit, pour ainſi dire, à leur choc, au lieu qu'elles agiſſent ſur une maſſe qui eſt comme forcée de recevoir d'elles un plus grand

mouvement, & qui le transmet au-dehors par la réaction du bois.

Le son comme tout autre mouvement change de direction, lorsqu'il rencontre des obstacles qui ne l'absorbent point: & alors il suit la loi commune; * l'angle de sa réflection devient égal à celui de son incidence.

XI Leço

* Tom. p. 289.

Le son réfléchi que l'on nomme communément *Echo*, ne se distingue point du son direct, c'est-à-dire, de celui qui vient immédiatement du corps sonore: quand la réflection se fait de fort près, l'un & l'autre se confondent. Mais lorsqu'il y a une distance suffisante, comme le son qui vient par réflection, fait plus de chemin que celui qui vient directement, il arrive plus tard à l'oreille, & y répéte la premiere impression. Supposons, par exemple, qu'une personne parle à voix haute, vis-à-vis d'un rocher *O*, éloigné de 173 toises, *Fig.* 14. elle s'entendra parler dans le même instant; mais le son qui ira frapper en *O*, & qui reviendra à elle par réflection, employera deux secondes de temps à cause du double trajet de 173 toises. Et parce que le son qui va plus

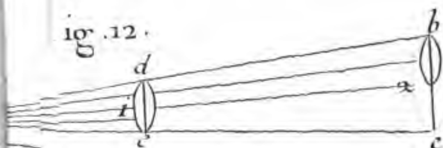
XI. LEÇON.

loin, met plus de temps pour aller & pour revenir, s'il y a des obſtacles en P & en Q, qui réfléchiſſent les rayons ſonores vers le même endroit, on y entendra ſucceſſivement deux, trois ou quatre échos. C'eſt encore par cette raiſon, qu'étant placé en *r*, *Fig.* 12. on entend d'abord le ſon de la cloche *a* par le rayon *ar*, & enſuite l'écho de la même cloche par les rayons *as*, *sr*.

Les échos ne ſe trouvent point en raſe campagne, mais très-communément dans les bois, dans les rochers, & dans les pays montagneux, parce que le ſon y rencontre bien fréquemment des obſtacles qui le réfléchiſſent ; on en a obſervé qui répétent un grand nombre de fois, comme celui de Woſtock, qui répéte diſtinctement 17 ſyllabes pendant le jour, & 20 pendant la nuit * : mais on a toujours obſervé en même temps que les dernieres répétitions ſont plus foibles que les premieres, ce qui eſt une conſéquence néceſſaire ; car les ſons qui viennent les derniers, ont fait plus de chemin que les autres, & le ſon eſt un mouvement qui diminue comme le quarré de la diſtance qui augmente,

* Plot : *Hist. nat. de la Province d'Oxfort en Angleterre.*

...ig. 12.





...g. 13.

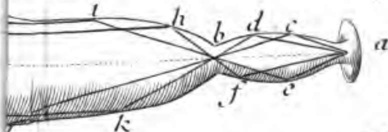
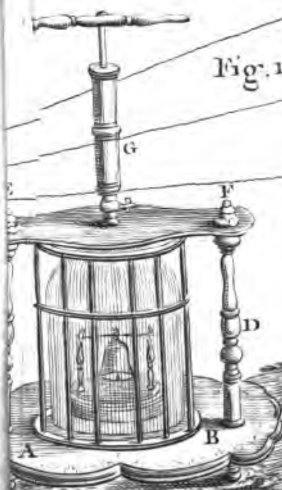


Fig. 14.





à moins que l'obstacle qui réfléchit les rayons sonores, ne soit d'une figure propre à diminuer leur divergence.

Les échos deviennent quelquefois des phénoménes fort singuliers, par la rareté des circonstances qui les font naître : à trois lieues de Verdun il y a deux grosses tours éloignées l'une de l'autre de 36 toises, lorsqu'on parle un peu haut dans la ligne qui joint ces deux édifices, la voix se répéte 12 ou 13 fois, toujours en s'affoiblissant ; les deux tours se renvoyent le son alternativement, comme deux miroirs qui se regardent, multiplient l'imáge d'une bougie placée entre eux : * on voit encore la description d'un écho plus singulier dans les Mémoires de l'Académie, imprimés avant 1700. ** On trouve assez facilement la cause de tous ces effets, en étudiant avec un peu d'attention, la nature & la position des lieux, ou la figure de tout ce qui est élevé sur le terrein.

* *Hist. l'Acad. Scienc.* 1?, p. 13.

** *Tom.* ? 187?.

De l'Ouie, & de son Organe.

DANS le premier volume de cet ouvrage j'ai fait une digression sur les

XI. LEÇON.

sens, où j'ai traité seulement du toucher, du goût & de l'odorat; on a dû voir par ce que j'en ai dit, que ces trois premiers sens ne nous mettent en commerce qu'avec les objets qui agissent immédiatement sur nous, soit par eux-mêmes, soit par leurs émanations. Mais à quoi en serions-nous réduits, s'il n'y avoit rien de sensible pour nous, que par des actions immédiates; si nous n'appercevions une bête féroce ou venimeuse, que par sa morsure, une pierre qui menace notre vie, que quand elle commence à nous écraser? Quel tableau seroit-ce que celui du monde, si tous les hommes ressembloient à ces créatures imparfaites, qu'une surdité ou un aveuglement de naissance met hors d'état de participer à la plûpart des idées communes (*a*), & qui seroient plus malheureuses encore, si plus favorablement traités par la nature, nous n'étions capables d'adoucir un peu la rigueur de leur sort. Par le secours de l'ouie & de la vûe

(*a*) Voyez l'histoire d'un sourd & muet de naissance qui commença à entendre & à parler à l'âge de 24 ans. *Hist. de l'Académie des Sciences*, 1703. *p.* 18.

nous sortons, pour ainsi dire, de nous-mêmes; nous allons au-devant des objets; nous les jugeons de loin; & sur le rapport de ces deux sens, le désir ou la crainte nous fait prendre & les moyens & les précautions nécessaires à notre bien-être.

On auroit peine à dire ce qui nous est le plus nécessaire, ou de la vûe ou de l'ouie. C'est ordinairement en supposant la privation de l'une ou de l'autre, que l'on essaye d'en juger; mais bien souvent cette comparaison manque de justesse & conduit à un faux jugement, parce qu'on ne met pas les circonstances égales de part & d'autre. Il y a une grande différence à faire d'un aveugle ou d'un sourd de naissance, à celui qui a vû ou entendu jusqu'à un certain âge, & qu'un accident a privé de l'un de ces deux sens; je n'ai point assez médité sur les regrets d'un homme qui sait qu'on peut voir, & qui n'a jamais vû, pour les comparer à ceux d'un autre homme qui sait qu'on peut entendre, & qui n'a jamais entendu; j'ignore quelle est leur peine, & de quel côté il y en a davantage; mais à présent que

XI. LEÇON.

je ſens combien il eſt difficile de faire naître des idées à quelqu'un qui n'entend point, & de combien de connoiſſances divines & humaines eſt privé un homme qui n'a pu avoir aucune éducation, j'aimerois mieux être né aveugle que ſourd. Je choiſirois tout différemment, ſi connoiſſant l'écriture, & les autres ſignes communs à la ſociété, il me falloit opter entre l'ouie & la vûe ; de ces deux biens le dernier me toucheroit davantage.

Cependant, dit-on, toutes choſes égales d'ailleurs, un ſourd eſt toujours plus triſte qu'un aveugle.

Si vous appellez triſteſſe, un air abſent & étranger à la converſation, vous avez raiſon ; il n'y prend aucune part : mais en eſt-il plus affligé qu'un aveugle devant qui l'on diſpute de la beauté d'une étoffe ? je ne le crois pas, à moins qu'il ne s'imagine qu'on parle de lui, ou de ce qui l'intéreſſe ; & alors ce n'eſt plus ſimplement à un aveugle devant qui l'on diſpute d'une étoffe, qu'il le faut comparer ; mais à un aveugle à qui il importe de ſavoir ſi cette étoffe eſt belle ou laide : je veux dire que les regrets de l'un & de

l'autre sont égaux, quand l'intérêt est égal de part & d'autre; mais je pense que l'aveugle a plus d'occasions de regretter, parce qu'on ne supplée point à la vûe, ni aussi facilement, ni aussi parfaitement qu'à l'ouie. On a vû des gens qui étant devenus sourds à un certain âge, s'étoient fait une habitude d'entendre au seul mouvement de levres, tout ce qu'on leur disoit, & même de converser ainsi avec d'autres sourds. *

Au reste pourquoi chercher quel est le plus avantageux de deux biens qui le sont peut-être également ? il semble que la nature l'ait décidé ainsi, puisque ne faisant jamais rien de superflu, elle a pourtant jugé à propos de nous donner deux oreilles; comme elle nous a donné deux yeux.

* *Mém. de Trév. Septemb.* 1701. p. 9. *Transact. Philosoph.* n°. 312.

L'ouie a pour objet le bruit & le son, dont nous avons parlé précédemment; la différence qu'il y a entre l'un & l'autre, c'est que le premier est un trémoussement irrégulier, ou peut-être un assemblage de plusieurs sons qui font ensemble sur l'organe une impression confuse, au lieu que le son proprement dit consiste

XI. LEÇON.

dans des vibrations réguliéres, homogenes, & qui se font sentir plus distinctement ; peut-être même les sons n'affectent-ils qu'une certaine partie de l'organe, & que le bruit les ébranle toutes en même temps.

L'oreille est l'organe de l'ouie ; c'est par cette partie qui paroît extérieurement en forme d'entonnoir aux deux côtés de la tête, que le son s'introduit, pour aller toucher les fibres nerveuses, où s'accomplit la sensation. Je n'entreprendrai point une description anatomique & complette de cet organe : c'est aux gens de l'art à entrer dans ce détail, qui seroit peut-être déplacé ici ; le Lecteur qui en jugera autrement, trouvera bon que je le renvoye aux ouvrages qui ont été faits exprès sur cette matiere ; & nommément à celui de M. le Cat *, qui a comparé les desseins des plus grands Maîtres avec ses propres observations. Je me contenterai donc de nommer succinctement les principales parties que la nature employe pour faire sentir les sons, & de les indiquer par des figures gravées d'après les meilleurs Anatomistes ; car mon

* *Traité des Sens, p. 275. Traité de l'Oreille, de M. du Verney.*

dessein se borne à faire compendre seulement, par quelle méchanique nous entendons les sons. XI. Leçon.

A B, *Fig*, 16. représente la partie extérieure de l'oreille, dont le fond qui est vers *C*, s'appelle *la Conque*. *CD* est le *conduit auditif* vû extérieurement; c'est un canal qui part de la Conque, & qui aboutit au *Timpan E*; cette membrane mince qui se présente obliquement, n'est pas tout-à-fait plane, mais un peu concave du côté du conduit auditif; immédiatement après, en avançant vers l'oreille interne, sont quatre osselets qu'on appelle, à cause de leur figure, *l'Os orbiculaire* 1, *l'Etrier* 2, *l'Enclume* 3, & *le Marteau :* une partie de celui-ci que l'on a nommée *le Manche* 4, aboutit au centre du timpan, & sert à le tendre plus ou moins; la premiere cavité qui est sous cette membrane, se nomme *la Caisse du Tambour*; elle est pleine d'air, & communique avec la bouche par un canal *F f* qui se nomme *la Trompe d'Eustache;* de sorte que l'air du tambour communiquant toujours avec l'air extérieur, fait équilibre à celui qui remplit le conduit au-

XI. LEÇON. ditif ; à la caisse du tambour répond une autre partie de l'oreille, qu'on nomme *Labyrinthe*, composé du *vestibule G*, des trois canaux sémicirculaires *H*, *I*, *K*, & du *limaçon L*, que je vais décrire séparément.

Le limaçon est un cône un peu écrasé, *Fig.* 17. enveloppé d'un conduit qui, comme un pas de vis, fait à-peu-près deux spires & demie, *Fig.* 18.

Ce conduit qui va toujours en s'étrécissant, est divisé dans toute sa longueur par une cloison membraneuse dont les fibres tendent à l'axe du cône qui lui sert de noyau, *Fig.* 19. C'est cette partie qu'on nomme *Lame spirale*, & qui va toujours en s'étrécissant comme le conduit qu'elle partage, depuis la base du cône jusqu'à la pointe. Ainsi les fibres qui composent sa largeur, deviennent toujours de plus en plus courtes, en approchant du sommet du cône.

Le conduit spiral partagé en deux par la cloison dont je viens de parler, a nécessairement deux orifices *M*, *N*, dont un aboutit au vestibule du labyrinthe, & l'autre à la caisse du tambour.

Enfin

Enfin le nerf auditif O se divise en plusieurs branches qui passent dans le vestibule, & se subdivisent en une infinité de petites fibres qui se distribuent à toutes les parties du labyrinthe : voilà à-peu-près quelle est la structure de l'oreille; en voici maintenant les fonctions. XI. LEÇON.

La conque, parce qu'elle est évasée presque en forme d'entonnoir, reçoit les rayons sonores en plus grande quantité, & leur action se transmet par le conduit auditif jusqu'à la membrane du tambour où se fait la premiere impression. Si cette membrane est lâche, les sons foibles s'y amortissent, & ne passent pas outre; ou bien, s'ils passent, leur impression est si peu sensible, que l'ame n'y fait point attention. Voilà pourquoi, lorsque nous sommes occupés d'ailleurs, il peut se faire auprès de nous des petits bruits ou des sons médiocres qui nous échappent. Mais si le timpan est bien tendu, (& c'est ce qui arrive quand on écoute,) le moindre son se communique par cette membrane élastique à la masse d'air qui est dans la caisse du tambour ; &

XI. LEÇON.

de cet air il passe à celui qui est dans le labyrinthe, dont toutes les parties sont revêtues des petites fibres du nerf auditif.

Un trop grand bruit fatigue l'oreille & va quelquefois jusqu'à rendre sourdes pour un temps, & même pour toujours, les personnes qui s'y sont exposées : c'est qu'une impression trop forte sur cet organe, comme sur les autres, engourdit les parties qui sont délicates, ou en dérange l'économie. Après un grand bruit, les sons foibles sont à l'oreille, ce qu'est à l'œil une petite lumiere après une grande illumination.

Tout le monde sait, & les enfans mêmes n'ignorent pas qu'on entend le son bien plus fortement, quand on tient le corps sonore dans les dents, ou qu'on a la bouche ouverte dessus ; c'est qu'alors les vibrations se communiquent à l'air du tambour par la trompe d'Eustache ; & cette action, qui est comme immédiate, doit se faire sentir bien plus fortement que celle qui se transmet par le timpan : c'est un moyen de mieux entendre, que l'on voit assez souvent met-

tre en uſage par les gens qui ont l'ouie un peu dure; ils ouvrent la bouche quand ils écoutent avec beaucoup d'attention. (*a*).

Il ſuit de cette obſervation, que la membrane du tambour, ou le timpan, n'eſt point une partie eſſentiellement néceſſaire pour la perception des ſons, puiſqu'ils pourroient ſe tranſmettre immédiatement à l'air qui eſt dans la caiſſe; & l'expérience a prouvé que cette conſéquence eſt juſte; car des chiens à qui l'on avoit ôté cette membrane, ne devinrent point ſourds, auſſi-tôt après cette opération *; mais l'expérience même a fait voir que ſans cette eſpece de barriere, les autres parties ne peuvent ſe conſerver long-temps, puiſque ces animaux, quelques ſemaines après; n'entendoient plus, comme auparavant, la voix de ceux qui les appelloient.

*Villis, de l'ame des Bêtes, c. 14.

(*a*) Ce que j'ai dit dans cet article, je l'ai dit d'après le plus grand nombre des Phyſiciens qui ont écrit ſur cette matiere; néanmoins il me paroît maintenant que, pour entendre par la bouche, il ne ſuffit pas de l'ouvrir ſur le corps ſonore, mais qu'il faut appuyer les dents deſſus ou au moins les lévres.

XI. LEÇON.

On eſt parfaitement d'accord ſur l'exiſtence du timpan, ſur la place qu'il occupe, & même ſur ſes fonctions; mais on ne l'eſt pas de même, quand il s'agit de ſavoir, ſi cette eſpece de diaphragme ferme abſolument le conduit auditif, ou s'il peut s'ouvrir ſans ſortir de ſon état naturel; les uns * tiennent pour cette derniere opinion & citent l'expérience de certaines gens qui font ſortir par leurs oreilles la fumée du tabac qu'ils ont retenue dans leur bouche; les autres ſoutiennent le contraire, & s'appuyent ſur l'expérience d'un habile Anatomiſte *, qui ayant rempli de mercure l'oreille d'un ſujet mort, ne put jamais faire paſſer ce minéral de la caiſſe du tambour dans le conduit auditif. L'expérience des fumeurs doit-elle être regardée comme un effet contre nature, auquel cas elle ne prouveroit rien? ou bien la mort donne-t-elle au timpan une adhérence invincible qu'il n'auroit pas dans le ſujet vivant, ce qui rendroit l'expérience faite avec le mercure auſſi peu concluante? Tout l'embarras de cette déciſion céſſe, quand on ſait

* *Dionis, demonſt. anatom. 8.*

* *Valſave, de aure humana, c. 2. §. 8.*

que la fumée ne paſſe point, comme on le dit, par l'oreille; & que ce prétendu fait n'eſt au fond qu'une ſupercherie, par laquelle certaines gens en impoſent à ceux qui ſont aſſez crédules pour ſe rendre aux premieres apparences, ou trop peu inſtruits pour les approfondir, comme je l'ai appris d'un de nos Anatomiſtes * dont les lumieres & la candeur ſont très-connues, & qui m'a dit s'en être aſſuré par l'aveu même de pluſieurs ſoldats des Invalides qui s'étoient vantés de rendre la fumée par les oreilles.

* *M. Morand de l'Ac. des Scienc. & chargé par la Comp. de vérifier le fait.*

Comme la propagation des ſons ſe fait ſelon les mêmes loix que celles de la lumiere, on peut raſſembler les rayons ſonores, & les condenſer comme ceux qui viennent d'un objet lumineux. Que l'on faſſe donc un cornet de figure parabolique, *Fig.* 20. au fond duquel aboutiſſe un petit canal, dont on placera le bout dans la conque de l'oreille; alors tous les rayons paralleles, comme *a b*, *c d*, ſeront raſſemblés en *f*, foyer de la parabole, & augmenteront conſidérablement la force du ſon dans le conduit auditif.

Mais comme ces inſtrumens acouſ-

XI. Leçon.

tiques ne doivent avoir d'autre effet que de renvoyer le son à l'oreille de celui qui s'en sert, il faut empêcher qu'ils ne le transmettent autour d'eux comme le porte-voix; c'est pourquoi je voudrois qu'on les fît de métal bien poli, afin que par leur dureté & par la régularité de leur surface, la réflection des rayons fût plus complette, mais qu'on amortît leur ressort, en les couvrant par-dehors avec une peau de chagrin, ou avec quelque chose d'équivalent.

M. Le Cat *, frappé de ce que la nature a pratiqué dans l'organe de l'ouie plusieurs cavités remplies d'air, a imaginé, pour aider les personnes qui ont de la peine à entendre, un double cornet qui est représenté par la *Fig.* 21, & dont l'ouverture *CD* peut avoir 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou trois pouces de diamétre. Dans l'opinion où je suis que l'augmentation du son, par ces sortes d'instrumens, vient autant de l'immobilité de l'air, que d'une réflection bien ménagée des rayons sonores, je penserois volontiers qu'on pourroit tirer avantage de cette nouvelle invention qui n'a point encore été éprouvée.

* *Traité des sens, p.* 292.

Des sons comparés.

Ce que j'ai dit précédemment touchant la nature du son en général, doit faire comprendre que les corps sonores sont capables d'exciter en nous différentes sensations; non-seulement parce qu'étant plus denses ou plus élastiques les uns que les autres, ils peuvent agir plus puissamment ou plus long-temps; mais encore, parce que leur ressort étant plus ou moins tendu, doit être susceptible de vibrations plus ou moins fréquentes : & en effet, tout le monde s'apperçoit que le son d'une cloche & celui d'une sonnette, différent beaucoup entr'eux : & pour le peu qu'on y fasse attention *, on reconnoît aisément qu'il y a dans cette différence quelque chose de plus que le degré de force; car quand on seroit fort près de la sonnette, & très-éloigné de la cloche, l'organe seroit encore affecté d'une maniere bien différente par ces deux sons. Il en est de même d'une corde quand on prendroit soin de la pincer toujours également fort,

XI. LEÇON.

si elle est plus ou moins tendue, le son change, & l'on n'apperçoit d'autre cause de cet effet, qu'une roideur plus ou moins grande dans les parties, d'où il doit résulter un frémissement plus ou moins prompt.

Ce sont ces différentes nuances de son, qui procédent de la fréquence plus ou moins grande des vibrations dans les parties du corps sonore, que l'on appelle *Tons*, & dont la combinaison harmonieuse fait l'objet de la musique, de cet art merveilleux qui a tant de pouvoir sur l'ame & dont tant de personnes sont occupées aujourd'hui, soit par goût, soit par profession.

On distingue tous les tons en *graves* & en *aigus* : on appelle grave celui d'un corps sonore, dont les parties frémissent beaucoup plus lentement que celles d'un autre à qui on les compare, ou (ce qui est la même chose,) qui, dans un certain temps, fait bien moins de vibrations que lui. On voit par cette définition, que le ton n'est grave ou aigu que par comparaison à un autre ton ; & que l'une ou l'autre de ces deux qualités peut varier au-

tant

tant qu'il peut y avoir de différences entre les nombres de vibrations que les corps sonores peuvent faire dans un temps donné. XI. LEÇON.

Mais quoique les tons puissent varier presque à l'infini, eu égard à la comparaison des nombres, leurs différences se renferment dans des bornes beaucoup plus étroites, si l'on s'en tient au sensible ; car l'oreille la plus délicate ne distingue ces nuances, que quand il y a un intervalle assez considérable entre les nombres qui les produisent. Par exemple, si l'on tend une corde de clavecin, de maniere qu'elle fasse 200 vibrations dans une seconde, elle aura un certain ton ; si elle se trouve ensuite un peu plus tendue, & que dans un pareil temps elle fasse 201, 202, ou 203 vibrations, elle aura sûrement un ton plus aigu physiquement, mais non pas sensiblement, parce que le nombre des vibrations qu'elle fait en dernier lieu, n'est point assez différent du nombre de celles qu'elle fait d'abord.

Lors donc que l'on touche deux corps sonores ensemble, comme deux cordes de clavecin ou de vielle,

XI. LEÇON.

leurs vibrations ont nécessairement un certain rapport de nombres entr'elles, de sorte qu'après un certain période, les deux cordes recommencent en même-temps; & c'est cette espece de réunion périodique, que l'on nomme *accord* ou *consonance*.

Les accords sont d'autant plus parfaits, que les vibrations rentrent ou se réunissent plus souvent, ou que leurs nombres, pour chaque temps, différent moins entr'eux. On appelle *unisson*, l'accord de deux cordes dont les vibrations se font une pour une; celle des deux qui fait deux vibrations contre une, donne l'*octave* au-dessus; si elle en fait trois contre deux, elle donne *la quinte*; quatre contre trois, *la quarte*; cinq contre quatre, *la tierce majeure*; six contre cinq, *la tierce mineure*.

Mais, comme on voit, tous ces accords d'une corde avec l'autre, n'ont rien d'absolu; le ton que je nomme octave, quinte, &c. deviendroit tout d'un coup toute autre chose, si je changeois le ton de l'autre corde, qui me sert d'objet de comparaison. Il en est de même du son

que je nomme grave ou aigu ; il change de dénomination ſans changer de nature, toutes les fois que le ſon auquel je le compare vient à changer.

C'eſt un inconvénient conſidérable en muſique de n'avoir pas un ton fixe & invariable, que l'on puiſſe toujours retrouver, & auquel on rapporteroit tous les autres. Cette eſpece de ſifflet dont on ſe ſert pour déterminer le ton des voix & des inſtrumens dans un concert, ou ces flûtes que l'on dit être au ton de l'Opéra, ne ſont point des moyens ſûrs pour éviter toute variation : l'expérience fait voir que tous les inſtrumens de cette eſpece, comme les autres, ne gardent pas conſtamment leur état ; mais quand ils pourroient le garder, s'ils viennent à ſe perdre ou à ſe caſſer, comment retrouver le véritable ton ?

De tous les Phyſiciens, qui ſe ſont propoſés de procurer à la muſique ce ton fixe tant déſiré, perſonne que je ſache n'a travaillé avec plus de zéle & plus de ſuccès que M. Sauveur ; quoiqu'à dire vrai, les moyens qu'il a imaginés, ne me paroiſſent point encore marqués au coin de cette ſim-

plicité qui annonce une invention de pratique. C'est dans ses propres écrits ou dans les extraits qu'on en a faits *, qu'il faut voir quelles ont été ses recherches à ce sujet, & jusqu'à quel point il a réussi. Je me contenterai de dire ici que cet ingénieux & savant Académicien, pour déterminer & fixer un son au-dessous duquel on prît la suite des tons graves, & au-dessus, celle des tons aigus, mit à profit une remarque qu'il fit, & qu'une oreille un peu attentive peut faire, en entendant accorder deux tuyaux d'orgues. La rentrée ou la réunion de leurs vibrations se fait sentir par un son plus fort; & le temps qui se passe d'une réunion à l'autre est quelquefois assez sensible pour être mesuré. On sait, par la nature des accords, combien il faut qu'un des deux tuyaux fasse de vibrations dans le même temps que l'autre en fait un certain nombre; que de deux tuyaux accordés à l'octave, par exemple, l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait une seulement. Si l'intervalle d'une rentrée à l'autre étoit assez sensible, on pourroit donc savoir combien de temps

* *Hist. de l'Acad. des Scienc.* 1700. p. 134.

employent celui-ci pour faire deux, celui-là pour faire une vibration. Ainsi le temps pendant lequel se font les vibrations d'un certain ton étant déterminé par l'expérience, & le nombre des vibrations qui font les autres tons pendant le même temps, étant connu d'ailleurs, M. Sauveur prend pour le son fixe, celui qui fait 100 vibrations en une seconde; & il appelle *octave-fixe-aiguë*, celle qui est au-dessus, c'est-à-dire, le son qui fait 200 vibrations en une seconde; & *octave-fixe-grave*, celle qui est au-dessous, ou le son qui fait 50 vibrations en une seconde.

M. Sauveur ayant trouvé par expérience, qu'un tuyau d'orgues d'environ 5 pieds ouvert, rendoit ce son fixe dont je viens de parler, compara cette longueur à celles de deux autres tuyaux dont l'un rendoit le son le plus grave, & l'autre le son le plus aigu que l'oreille humaine pût distinguer; & ayant examiné, par la comparaison de leurs dimensions, combien chacun pouvoit faire de vibrations dans le temps d'une seconde, il trouva que le son le plus grave que nous puissions distinguer vient d'un

XI. LEÇON.

corps ſonore qui fait 12 vibrations ½ par ſeconde, & que le ſon le plus aigu fait en pareil temps 6400 vibrations; & comme 12 ½ eſt à 6400 à-peu-près dans le rapport de 1 à 512, on peut conclure que l'oreille eſt ſuſceptible de 512 degrés de ſenſations.

Si l'on a une fois un ton fixe par le moyen des tuyaux d'orgues, on peut l'avoir pour toutes ſortes d'inſtrumens; car une corde de viole, une flûte, un haut-bois, &c. peut ſe mettre à l'uniſſon avec le tuyau qui donnera le ton fixe.

La grandeur des vibrations ne fait rien au ton: quand le corps ſonore vient d'être touché, elles ſont d'abord plus étendues, & le ſon en eſt plus fort; mais quoiqu'enſuite elles deviennent plus petites, & que le ſon s'affoibliſſe en conſéquence, le ton ſubſiſte le même juſqu'à la fin, parce que les vibrations, quoique moins grandes à la fin qu'au commencement, ſont toujours de la même durée: c'eſt la propriété des corps à reſſort. Ceci ne doit pourtant s'entendre que du ſon principal, de celui que toute oreille entend, dès que

le corps sonore a été frappé ; car lorsqu'on y fait plus d'attention, & à mesure que le son principal s'affoiblit, on distingue assez souvent d'autres tons, dont nous essayerons de rendre raison ci-après.

XI. LEÇON.

Une corde fait des vibrations d'autant plus fréquentes, & par conséquent rend un son d'autant plus aigu, qu'elle est plus courte, ou moins grosse, ou plus tendue. Si l'on veut donc en accorder deux qui soient de même matiere, il faut avoir égard à ces trois choses, à leurs longueurs, à leurs grosseurs, & à leurs degrés de tension.

1°. Si deux cordes également longues & grosses ne différent que par le degré de tension, leurs vibrations, quant au nombre, sont comme les racines quarrées des puissances ou des forces qui les tiennent tendues ;

C'est-à-dire, que si elles étoient tirées par des poids, & que l'une des deux le fût par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres : comme la racine quarrée de 4 est 2, & que celle d'1 est 1 ; les vibrations de ces deux cordes, quant au nombre, seroient dans le rapport de 2 à 1 : &,

XI. LEÇON.

suivant le même principe, les vibrations feroient dans le rapport de 3 à 2, si les poids qui tendent les cordes étoient, l'un de 9, & l'autre de 4 livres: parce que la racine quarrée de 9 est 3, & que celle de 4 est 2.

2°. Si les cordes également grosses, également tendues, ne différent qu'en longueur, le nombre de leurs vibrations en temps égaux, est en raison inverse de leur longueur;

C'est-à-dire, que celle qui est une fois plus courte, fait une fois plus de vibrations que l'autre, & que celle qui est comme 2 à 3 par rapport à l'autre, fait 3 vibrations contre 2, &c.

3°. Si les cordes ne différent qu'en grosseur, elles font des vibrations dont les nombres sont en raison réciproque des diamétres; (*a*)

C'est-à-dire, que si l'une des deux est une fois plus grosse, elle fait une fois moins de vibrations que l'autre, dans un temps donné. Si les diamétres sont entr'eux comme 3 & 2, la plus grosse

(*a*) Ceci ne doit s'entendre que des effets sensibles, & non pas selon la rigueur mathématique; voyez-en les raisons, *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1709. *p.* 47 *& suiv.*

des deux ne fait que 2 vibrations contre 3, &c.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 22. représente un instrument qu'on peut nommer *Sonometre*, parce qu'il sert à mesurer & à comparer les sons. C'est une caisse longue montée sur un pied qui est composé de deux montans & d'une traverse; la table qui est de sapin peut avoir trois pieds de longueur sur 4 pouces de largeur; & elle est percée de trois rosettes à-peu-près semblables à celle d'une guitarre ou d'un tambourin. A l'une des deux extrémités sont deux leviers angulaires, qui ressemblent à ceux dont on se sert pour les sonnettes dans les appartemens, & dont les bras forment un angle droit. Aux bras de ces leviers sont attachés d'une part deux poids *A*, *B*, que l'on peut changer; & de l'autre, deux cordes de violon que l'on tend avec les chevilles, *C*, *D*, qui sont à l'autre bout de la caisse. Ces deux cordes passent sur deux chevalets fixes *E*, *F*, qu'elles

XI. LEÇON. touchent à peine, & sur lesquels lorsqu'elles sont tendues, on les arrête, par le moyen d'une vis qui pousse dessus une petite piece de bois. Il y a encore un autre chevalet G, qui glisse dans une coulisse d'un bout à l'autre de la caisse, dont le bord est divisé en pouces & en lignes; de sorte qu'en appuyant un peu le bout du doigt sur une des deux cordes, on peut la mettre en tel rapport de longueur que l'on veut avec l'autre, sans changer sensiblement son degré de tension. Quand on veut tendre les cordes dans des proportions connues, on attache des poids dont on sait la valeur, en *A* & en *B*, & l'on tourne les chevilles *C*, *D*, jusqu'à ce que les bras des leviers fassent des angles droits, tant avec les cordes sonores, qu'avec celles qui suspendent les poids.

EFFETS.

1°. Les deux cordes étant de même grosseur, & tendues avec des poids semblables, donnent l'unisson lorsqu'elles sont également longues; l'octave, quand l'une des deux est moitié plus courte que l'autre; la

quinte, quand elles ſont l'une d'un tiers plus courte que l'autre. XI. LEÇON.

2°. Les deux cordes étant de la même longueur & de la même groſſeur, s'accordent à l'octave, quand l'une eſt tendue par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres : elles s'accordent à la quinte, quand les deux poids qui les tiennent tendues, ſont l'un de 4 & l'autre de 9 livres.

3°. Les deux cordes étant également longues, & tendues par des poids égaux, ſont d'accord à l'octave, quand l'une eſt une fois plus groſſe que l'autre ; à la quinte, quand le diamétre de l'une eſt à celui de l'autre comme 3 à 2.

EXPLICATIONS.

On ſait par tout ce qui a été dit précédemment, que les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations que fait le corps ſonore, dans un temps déterminé ; & que les accords ne ſont autre choſe que les différens rapports de ces nombres entr'eux. Ainſi, puiſque je ſais que l'octave doit s'entendre, toutes les

XI. LEÇON. fois qu'il y a deux vibrations contre une ; la quinte, quand il y en a 3 contre 2, &c. je puis donc, en toute sûreté, conclure ces rapports de nombres, par les accords que j'entends ; ainsi quand les deux cordes de mon sonometre sont à l'unisson, quelle que puisse être alors la longueur, grosseur, ou tension de chacune, il est certain que leurs vibrations sont isochrones ; c'est-à-dire, qu'elles en font une pour une, ou un même nombre en même temps : & de même, quand elles sont d'accord à l'octave, ou à la quinte, &c. je puis dire : c'est que les vibrations qu'elles font dans un temps donné, sont dans le rapport de 1 à 2, de 3 à 2, &c.

Or, on a vû, par les résultats précédens, qu'en réglant la longueur, la grosseur, & le degré de tension des cordes, comme nous avions dit * qu'il falloit faire, pour avoir certains rapports dans les nombres des vibrations, il en résulte des accords qui dépendent essentiellement de ces proportions, & qui ne vont point sans elles. Il est donc évidemment prouvé par notre expérience, que les vibra-

* p. 463. & 464.

tions sont, comme nous l'avons dit, d'autant plus promptes que la corde sonore est plus courte, plus menue ou plus tendue, & que leur fréquence suit les rapports que nous avons établis.

Ce que dit l'expérience à cet égard se trouve parfaitement d'accord avec le raisonnement. Car puisque tous les corps à ressort ont des vibrations d'autant plus promptes, que leurs parties sont plus roides, une corde qui est plus tendue, & dont les parties sont plus tirées, doit faire des vibrations plus promptes, & rendre par conséquent un son plus aigu : & au contraire, celle qui l'est moins, & dont les parties sont plus lâches, doit avoir des vibrations moins fréquentes, ce qui lui donne un son plus grave. Or une corde est moins tendue qu'une autre, quoiqu'elle soit tirée par un même degré de force, si elle est plus longue ou plus grosse, parce qu'alors cette force qui la tend agit sur un plus grand nombre de parties, qui partagent son effort ; & par conséquent chacune d'elles, considérée comme un petit ressort se trouve moins tendue

XI. LEÇON.

qu'elle ne le feroit, si elle faisoit partie d'une corde, ou plus fine ou plus courte.

APPLICATIONS.

L'EXPÉRIENCE précédente nous apprend pourquoi dans tous les instrumens de musique, la partie sonore, c'est-à-dire, celle qu'on touche pour exciter les sons, est toujours disposée de maniere qu'on en peut changer facilement ou les dimensions, ou le degré de tension. Car c'est par ces deux moyens qu'ils sont propres à exprimer la composition du Musicien. Les chanterelles d'une vielle, par exemple, montées à l'unisson, figurent les airs, parce que les touches que l'on pousse les accourcissent plus ou moins pour former les tons. Au violon, ce sont les doigts qui font l'office de touches en serrant les cordes sur les divisions du manche. Au clavecin, où chaque corde est fixée à un seul ton, l'étendue du jeu vient d'un plus grand nombre de cordes, & de leurs différentes longueurs & grosseurs.

Dans un instrument à vent, c'est

encore en changeant les dimensions du corps sonore, que l'on acquiert une suite de tons plus graves ou plus aigus les uns que les autres. Une flûte ou un flageolet contient une colonne d'air, qui est, à proprement parler, la partie sonore de cet instrument, comme je l'ai déja dit ci-dessus. Mais cette colonne d'air change en quelque façon de longueur, selon le nombre des trous que l'on débouche ou que l'on tient fermés : puisque chacun de ces trous faisant communiquer l'air extérieur avec celui du tuyau, empêche que ce dernier ne reçoive dans toute son étendue, ou d'une maniere complette, les vibrations qui viennent de l'embouchure. *

L'organe de la voix pourroit être comparé aux instrumens à vent, pourvû néanmoins qu'on n'y cherchât point une similitude fort exacte ; car nous ne voyons pas que l'art en ait encore produit aucun qui imite d'assez près la nature. La *trachée-artere* *G g*, *H h*, *Fig.* 23. ce canal par où l'air qu'on respire entre dans les poulmons, est terminé vers la bouche par une petite fente ovale *k*, qu'on

* *Voyez l'explicat. de M. Euler. Tent. novum theor. musicæ.*

XI. LEÇON.

nomme *la Glotte.* La ressemblance qu'elle a avec une flûte, avoit fait croire anciennement, que la voix se formoit dans cette partie comme le son dans ces sortes d'instrumens. Mais M. Dodard considérant que le son d'une flûte est excité par l'air qui entre dans le tuyau, au lieu que la voix l'est communément par celui qui sort de la trachée, se détermina à croire, avec toute sorte de vraisemblance, que la glotte est l'organe principal, & que le canal qu'elle termine ne fait que l'office de porte-vent.

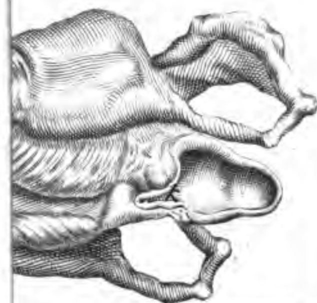
Selon le systême de cet habile Physicien *, l'air sortant avec plus ou moins de vîtesse par la glotte, qui a pour cet effet la faculté de se dilater & de se rétrécir, forme des sons plus ou moins graves. Le son formé de cette maniere va retentir dans la cavité de la bouche, & dans celle des narines; & en sortant il s'articule par le mouvement de la langue & des lévres. Ainsi la trachée fournit l'air, la glotte forme la voix, & en régle le ton, la langue & les lévres en font des paroles.

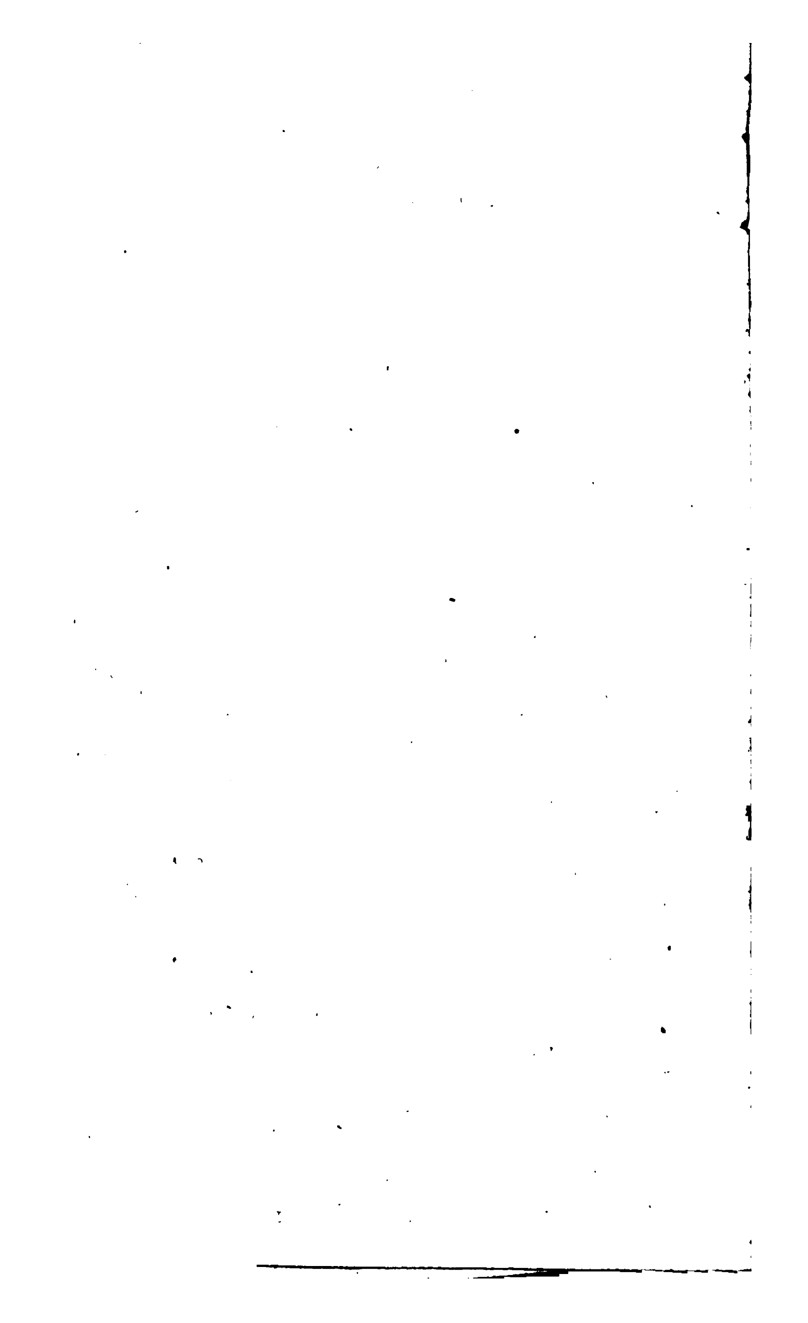
* *Mém. de l'Acad. des Sc.* 1700. p. 244.

Voilà, dit-on, comme les choses se


…ig. 19.


o
Fig. 17.
f


x



se passent pour l'ordinaire : mais on peut cependant parler & chanter en aspirant ; & il y a des gens qui, par habitude, ou par une certaine disposition d'organes, font entendre une voix sourde & étouffée qui se forme par l'air qui entre dans la trachée : on les appelle *Ventriloques* ; c'est-à-dire, qui parlent du ventre. On les regardoit autrefois comme magiciens & comme possédés du démon ; il se trouve même de bons auteurs * à qui il paroît que cette façon de parler en a imposé aussi-bien qu'au peuple.

XI. LEÇON.

* *Liranus, in c. 18. Deut. Casserius, de vocis organo.*

Si l'on doit attribuer les différens tons de la voix ou du chant aux différentes ouvertures de la glotte, il faut que son petit diamétre qui n'a au plus qu'une ligne, puisse changer 9632 fois de longueur, selon le calcul de M. Dodard, pour fournir à toutes les différentes nuances de tons dont la voix humaine est susceptible. Une telle division peut-elle avoir lieu dans une si petite étendue ? c'est ce qu'on a peine à concevoir. La glotte feroit-elle donc l'office d'une anche de haut-bois ou de musette, qui, comme l'on sait, n'est chargée que

XI. LEÇON.

de produire le son, & non pas les tons; & le canal de la bouche qui s'allonge, se rétrécit, & se dilate suivant la qualité des tons, feroit-il celui d'un chalumeau qui contient plus ou moins d'air, & qui devient capable par-là d'un son plus ou moins grave? ou bien ces deux parties concourroient-elles ensemble à la formation des tons, l'une comme une anche qui deviendroit plus ou moins grande, plus ou moins élastique, l'autre comme un tuyau qui changeroit de dimension?

M. Ferrein, Médecin, a répandu un grand jour sur cette question, en prouvant, par des expériences aussi décisives qu'elles sont ingénieuses & délicates, que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre à la maniere d'une anche; mais que chacune d'elles frottée par l'air qui vient des poulmons, résonne comme une corde sur laquelle on traîne un archet. Ses observations lui ont fait connoître, que les bords de ces deux lévres sont des cordons tendineux attachés de part & d'autre à des cartilages qui servent à les tendre

plus ou moins : il trouve dans ces différens degrés de tension dont ces parties sont susceptibles, une explication naturelle de tous les tons dont la voix humaine est capable ; car on sait en général, qu'une corde plus ou moins tendue rend un son plus ou moins aigu.

XI. LEÇON.

Mais comment M. Ferrein a-t-il pu savoir que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre ; que le seul rétrécissement de cette partie ne suffit pas pour faire monter la voix des tons graves aux tons aigus ; & que l'air lancé des poulmons par la trachée-artere donne un mouvement de vibrations à ces cordons tendineux, qu'il a nommés pour cela *Cordes vocales* ? Ne faudroit-il pas avoir vû l'action même de ces parties pour juger de la maniere dont elle se fait ? Et comment porter la vûe sur un méchanisme que la nature n'a point mis à la portée de nos yeux ?

L'ingénieux auteur de ces découvertes, ne pouvant point tenter ces expériences sur des sujets vivans, imagina de rendre la voix aux morts. Il adapta un soufflet à des trachées

XI. LEÇON.

toutes fraîches ; l'air qu'il fit passer avec précipitation par la glotte rendit des sons, & ses conjectures devinrent des connoissances. *Voyez les Mém. de l'Académ. des Sc. année* 1741. p. 409.

Quand une fois la voix est formée, & que son ton est réglé, il faut, pour être agréable, qu'elle sorte & par la bouche & par le nez ; elle est tout-à-fait différente de ce qu'elle a coutume d'être, lorsqu'elle ne résonne que dans l'une de ces deux cavités ; on n'aime point à entendre quelqu'un qui parle ou qui chante ayant les narines bouchées : on dit communément qu'il parle du nez ; expression tout-à-fait impropre, comme on voit, puisque c'est justement quand on n'en parle point, qu'on s'attire ce reproche.

On conçoit, sans aucune difficulté, comment deux corps sonores exécutent séparément leurs vibrations, comment l'un des deux, par exemple, en acheve 4 pendant que l'autre n'en fait que deux ou trois, parce que la fréquence de ces vibrations dépend d'un certain degré de ressort que chacun posséde séparément. Mais com-

ment est-ce que deux tons différens subsistent en même-temps dans le même air, si les tons ne sont dans l'air, que ce qu'ils sont dans le corps sonore, une fréquence déterminée de vibrations ? Comment la même masse d'air peut-elle rendre distinctement & en même-temps les sons de deux cordes qui sont à l'octave l'une de l'autre, si celle-ci exige 100 vibrations, & celle-là 200 par seconde ?

Ce n'est encore là que la moitié de la difficulté ; car quand bien même ces deux mouvemens pourroient se communiquer & se conserver sans confusion dans le même air, il reste encore à savoir par quel moyen l'organe qui reçoit en même-temps les deux impressions, n'éprouve point une sensation mixte ou composée de l'une & de l'autre, comme l'œil voit du verd, quand il est frappé en même-temps par deux rayons, dont l'un est jaune & l'autre bleu.

On ne s'est jamais trop mis en peine de répondre à la derniere de ces deux questions : quant à le premiere, on a prétendu le faire, en comparant le mouvement de l'air qui transmet

XI. Leçon.

les sons aux ondulations circulaires qu'on fait naître dans une eau tranquille, lorsqu'on y jette des pierres. Car de même, dit-on, que ces ondulations s'entre-coupent sans se confondre, & s'étendent séparément jusqu'au bord du bassin, de la même maniere aussi l'air se charge de différens tons ensemble, & les transmet sans confusion jusqu'à l'oreille.

Mais, outre que ce n'est point expliquer un phénoméne que de le comparer à un autre; cette comparaison même est défectueuse, & l'on voit évanouir presque toute similitude, quand on fait attention à la nature des mouvemens de part & d'autre.

Lorsqu'une pierre tombe dans l'eau, elle abaisse la partie du fluide qui se trouve sous elle, & en même-temps elle éléve les parties voisines; chacune de ces parties soulevées retombe avec accélération plus bas que son niveau, & fait monter celle qui est immédiatement après, ce qui continue jusqu'à ce que tout ait repris son équilibre. Ces balancemens se faisant dans une infinité de rayons qui partent d'un centre commun, représen-

tent à l'oeil ces ondulations circulaires dont il s'agit, qui se ralentissent à mesure qu'elles s'étendent, & qui deviennent d'autant plus lentes qu'elles sont plus foibles, soit par la cause qui les a fait naître, soit par le trajet qu'elles ont déja fait. Mais le mouvement du son dans l'air est toute autre chose; ce sont les vibrations d'un fluide élastique qui se transmettent avec une vîtesse uniforme, & qui ne deviennent ni plus promptes ni plus lentes, quand leur grandeur vient à varier.

D'ailleurs quand les ondulations de l'eau s'entrecoupent, on ne peut nier qu'à l'endroit du choc, le mouvement ne se compose des masses & des vîtesses des parties qui se rencontrent, & qu'un corps placé à cette intersection ne dût recevoir le mouvement composé. Il n'en est pas de même de deux sons qui agissent sur le même organe; chacun fait son impression comme s'il étoit seul, & l'oreille les distingue par deux sensations différentes, quoique simultanées. Ainsi la comparaison des ondes n'explique rien, & laisse subsister

XI. LEÇON.

en leur entier, les deux difficultés que j'ai exposées.

M. de Mairan, après avoir donné des preuves évidentes de cette disparité, propose sur la propagation des sons un systême si ample, mais en même-temps si heureusement imaginé, qu'on oublie bien-tôt que c'est une hypothese, quand on l'applique aux phénomenes; il a cela de commun avec celui des couleurs, comme son auteur ressemble à Newton par bien des endroits.

S'il étoit question de décider, si les molécules qui composent la masse de l'air sont toutes égales entr'elles, ou s'il y en a de plus petites les unes que les autres à toutes sortes de degrés, & qu'il fallût adopter l'une de ces deux suppositions, quel parti faudroit-il prendre? Lequel des deux paroîtroit le plus vraisemblable? Comme ces molécules sont des assemblages fortuits des parties plus subtiles, qui se joignent & se désunissent par mille causes différentes, ne seroit-on pas porté à croire qu'elles différent de grandeur à l'infini, plutôt que de supposer gratuitement, qu'elles se ressemblent

ressemblent toutes parfaitement ?

Cette pensée sur laquelle est fondé tout le systême de M. de Mairan, est la seule qui ne soit que vraisemblable; toutes les autres sont des conséquences si nécessaires de ce principe, (si une fois on l'admet,) qu'on ne peut point s'y refuser.

Si les molécules de l'air sont de différentes grandeurs, elles doivent différer aussi par leurs degrés de ressort, comme une même lame d'acier feroit des ressorts plus roides les uns que les autres, si elle étoit divisée en portions inégales. Par-tout où l'on place un corps sonore, il doit donc trouver dans la masse commune, des particules d'air dont le ressort est analogue au sien, & capables par conséquent de recêvoir, de conserver, & de transmettre ses vibrations. Ainsi deux cordes de différens tons se font entendre par la même masse d'air, mais par différentes parties de cette masse. Suivant cette explication, on conçoit facilement comment les tons ne se confondent point dans le fluide qui les transmet; car de cette maniere, ce fluide, eû égard à ses différentes parties, peut

se prêter à des vibrations plus fréquentes les unes que les autres.

XI. LEÇON.

Quant à l'impression des sons sur l'organe, il faut se souvenir que la lame spirale, qu'on doit regarder comme la partie principale, est un assemblage de fibres qui vont toujours en diminuant de longueur, depuis la base jusqu'à la pointe du limaçon, à-peu-près comme les cordes d'un psaltérion ou d'un clavecin ; chacune a une élasticité proportionnelle à sa longueur, ce qui la rend propre à être ébranlée par des vibrations d'une certaine fréquence seulement. Ainsi, quand deux tons parviennent à l'organe en même-temps, chacun d'eux fait son impression sur la fibre dont le ressort est analogue à la fréquence de ses vibrations ; & ces deux sensations séparées font naître deux idées distinctes : en un mot, il arrive aux fibres de la lame spirale ce qu'on remarque aux cordes d'un clavecin, ou à tout autre corps sonore dont on prend le ton ; si l'on touche une corde, on fait résonner celle qui est à l'unisson, non-seulement sur le même instrument, mais même sur un autre qui

feroit placé à côté ; si l'on parle à voix haute dans un magasin de verreries, dans une boutique de Chaudronnier, dans une office où il y a beaucoup de vaisselle creuse, on entend toujours résonner quelque piece, tandis que les autres restent en silence ; & si l'on change de ton, c'est une autre piece qui répond.

Mais, dira-t-on, comment se peut-il faire qu'une corde que l'on met en jeu, choisisse précisément les molécules d'air qui lui conviennent : & que l'air intérieur de l'oreille, qui reçoit son mouvement à travers la membrane du tambour, attaque avec un pareil choix les fibres qui ne sont propres à sentir qu'un certain son ?

Cette corde ne choisit point en effet, & l'air de l'oreille frappe indifféremment toute la lame spiral ; mais les effets sont les mêmes que s'il y avoit du choix : car quoique plusieurs corps qui ont différens degrés de ressort, commencent leurs vibrations en même-temps, si la cause qui les entretient est fixée à un certain degré de fréquence, ces vibrations ne peuvent continuer que dans ceux dont

XI. LEÇON.

le reſſort eſt analogue à cette fréquence ; car ceux qui ſeroient de nature à faire, par exemple, une vibration & demie contre une, ne ſe trouveroient point à temps comme les autres, pour recevoir la ſeconde impulſion ; & leur mouvement devroit ſe rallentir ou ceſſer. Le corps ſonore agit donc d'abord ſur toutes les molécules d'air qui l'entourent ; mais il ne continue efficacement ſon action que ſur celles qui ſont propres à ſe mouvoir préciſément comme lui. C'eſt la même choſe pour les fibres de la lame ſpirale : & comme nos ſenſations ne s'accompliſſent que par un ébranlement d'une certaine durée, la premiere ſecouſſe qui attaque toute la partie indiſtinctement, eſt déja paſſée, lorſque l'ame s'apperçoit de l'impreſſion qui continue, ſur les fibres qui ſont propres à cette eſpece de mouvement.

Il ne faut pas croire cependant, qu'une corde que l'on pince, ne mette & n'entretienne abſolument en jeu que les particules d'air qui ont une analogie préciſe avec ſon reſſort, elle agit auſſi ſur celles qui ſont *harmo-*

niques; c'eſt-à-dire, dont les vibrations recommencent avec les ſiennes après un certain nombre, & elle agit plus fortement ſur celles qui ſont plus harmoniques ou plus prochainement rentrantes. La même corde fait donc réſonner d'abord & beaucoup plus fortement que les autres, les particules d'air qui ſont propres à faire autant de vibrations qu'elle, & c'eſt ce qui fait le ton principal; enſuite, & avec moins de force, celles qui ne font qu'une vibration contre deux; après ces dernieres, & encore plus foiblement, celles qui ne font que deux vibrations contre trois, &c. de ſorte qu'on peut dire qu'un ſeul & même corps ſonore fait toujours un petit concert: à la vérité, ces ſons harmoniques ſont couverts par le ſon principal; mais quand celui-ci vient à s'affoiblir, une oreille un peu délicate n'a pas de peine à les diſtinguer.

On pourroit demander ici, 1ment, pourquoi nous n'entendons qu'une fois le même ſon, quoique nous ayons deux oreilles auſſi ſenſibles l'une que l'autre: 2ment, par quelle raiſon, parmi tant de différens tons, il y en

XI. LEÇON.

a qui se font mieux entendre que d'autres à certaines gens qui ont l'ouie dure: 3ment, comment les bruits ou les sons d'une certaine espece, ou d'une certaine force, nous remuent les entrailles, nous font du plaisir ou de la peine.

L'unité de sensation, quoique produite par deux impressions distinctes, vient sans doute de ce que le son attaque des parties parfaitement pareilles, & qui ont un point de réunion commun dans le cerveau; & il est à présumer qu'on n'entendroit point de l'une des deux oreilles le son qui frapperoit d'un côté la 4e. fibre de la lame spirale, par exemple, & de l'autre la 6e. de la membrane du même nom. Ce n'est point le seul exemple qu'il y ait dans la nature, de deux organes semblables qui ne représentent qu'une fois leur objet, quoiqu'ils agissent également. Ordinairement nous ne voyons point double, quoiqu'il soit constant que l'image se peint également dans les deux yeux, & c'est par une raison assez semblable à celle que je viens d'exposer, & que je détaillerai en parlant de la vision.

L'efficacité de certains sons préfé-

rablement à d'autres qui ſont même quelquefois plus forts, pourroît être attribuée à quelque vice de la lame ſpirale qui ne l'occuperoit pas toute entiere. Si, par exemple, les deux extrémités de cette partie étoient devenues moins ſenſibles que le milieu, par quelque accident que ce pût être, la perſonne qui auroit cette maladie n'entendroit facilement que les tons mitoyens entre les plus graves & les plus aigus; & dans la quantité de monde qu'elle verroit, il ſe trouveroit infailliblement quelqu'un dont le ton de la voix ſe porteroit à cette partie ſaine, & qui ſe feroit entendre ſans parler plus haut que de coutume.

Enfin les mouvemens que nous reſſentons au-dedans de nous-mêmes, lorſque nous entendons des ſons ou des bruits d'une certaine eſpece, s'expliquent encore avec facilité, (ſi l'on ne cherche que la cauſe générale,) par différentes impreſſions qui ſe font ſur le genre nerveux, qui s'étend à toutes les parties de notre corps. Car les nerfs ſont comme des cordes élaſtiques différemment tendues, plus groſſes & plus longues les unes que

XI. LEÇON.

les autres. Or parmi toutes ces espéces de trémoussemens que les corps sonores peuvent imprimer à l'air qui nous touche de toutes parts ; il est presqu'impossible qu'il n'y en ait quelqu'une dont les fibres nerveuses de certaines parties ne soient susceptibles. Lorsque l'impression est douce & modérée, nous la ressentons avec plaisir ; mais quand elle est trop forte, qu'elle tend à détruire ou à déranger l'économie des parties, l'ame qui veille à la conservation du corps qu'elle anime, la désapprouve, s'inquiéte ; & c'est ce qu'on nomme *déplaisir* ou *douleur*.

Voilà en gros comment les sons, selon leur espece, excitent nos passions : certains airs inspirent la mollesse & l'amour de la volupté ; d'autres la hardiesse & le courage ; ceux-ci la tristesse, ceux-là la gayeté, &c. mais s'il falloit désigner les causes prochaines, & dire déterminément pourquoi telle musique affecte de telle maniere, l'entreprise, je crois, seroit téméraire ; il faudroit connoître plus à fond ce que nous sommes, & la liaison qu'il y a entre nos différentes facultés.

L'histoire de la Tarentule, si elle est vraie, (a) est un exemple fort singulier des effets de la musique sur le corps humain : la piqûre de cet insecte, qui est une grosse espece d'araignée assez commune en Italie, envenime, dit-on, le sang, & cause des accidens très-fâcheux, qui vont quelquefois jusqu'à la mort. Quand on s'apperçoit que quelqu'un a cette maladie, on essaye en sa présence différent airs, & différens instrumens, jusqu'à ce qu'on ait trouvé celui qui convient pour la guérison ; on s'en apperçoit à certains gestes & à certains mouvemens cadensés par lesquels le malade s'agite : on dit alors qu'il danse, peut-être aussi improprement que les Anciens disoient qu'on meurt en riant quand on a mangé de la ciguë, à cause de quelques grimaces qu'ils voyoient faire en expirant, à ces sortes d'empoisonnés. Quoi qu'il en soit, ces agitations & ces sauts excitent ordinaire-

(a) Depuis la premiere édition de ce volume j'ai eu occasion de voir M. Serrao, savant Médecin de Naples, qui m'a inspiré beaucoup de défiance sur tout ce que l'on raconte de la Tarentule. Voyez son Ouvrage *della Tarantola*.

XI. LEÇON.

rement une transpiration salutaire, qu'on a soin de réitérer de temps en temps par le même moyen, jusqu'à ce que les symptômes cessant, annoncent que tout le venin est dissipé.

Ce n'est pas seulement dans cette maladie que la musique peut avoir de bons effets; on a vû des gens attaqués de fievres chaudes, être touchés d'un air de violon, se lever, sauter, suer de fatigue, & être guéris*.

Enfin on attribue aussi au bruit du tonnerre nombre d'effets merveilleux, & dont plusieurs semblent avoir de la réalité; mais est-ce le trémoussement seul que ce météore excite dans l'air qui en est la cause? ou bien doit-on s'en prendre aux exhalaisons qui regnent très-communément dans les tems d'orage? c'est ce qu'il n'est pas facile de décider.

* Hist. de l'Acad. des Sc. 1703. page 22.

Des Vents.

Le vent n'est autre chose qu'un air agité, une portion de l'atmosphere qui se meut comme un courant avec une certaine vîtesse & avec une direction déterminée.

Ce météore, eu égard à sa direction, prend différens noms selon les différens points de l'horizon d'où il vient. On appelle vent de Nord, de Sud, d'Est ou d'Ouest, celui qui souffle de l'un de ces quatre points cardinaux. Vent de Nord-Est, de Sud-Ouest, &c. celui qui tient le milieu entre le Nord & l'Est, entre le Sud & l'Ouest, &c. vent de Nord-Nord-Est, de Sud-Sud-Ouest, &c. celui qui tient une fois plus du Nord que de l'Est, une fois plus du Sud que de l'Ouest, &c. Communément cette division de vents va jusqu'à trente-deux. *Voyez la Fig. 24.* elle pourroit aller plus loin, s'il étoit possible d'observer toutes leurs variations.

On peut distinguer principalement trois sortes de vents : les uns qu'on appelle *généraux* ou *constans*, parce qu'ils soufflent sans cesse dans une certaine partie de l'atmosphere; tels sont ceux qu'on nomme *alisés*, & qui régnent continuellement entre les deux tropiques, & à quelque distance aux environs : les autres, qui sont *périodiques*, qui commencent & finissent toujours dans certains temps de l'année;

XI. LEÇON.

ou à certaines heures du jour, comme les *mouſſons* qui ſont Sud-Eſt, depuis Octobre juſqu'en Mai, & Nord-Oueſt depuis Mai juſqu'en Octobre entre la côte de Zanguebar & l'Iſle de Madagaſcar ; ou bien le *vent de terre* & le *vent de mer* qui s'élévent toujours, celui-ci le matin & l'autre le ſoir. D'autres enfin qui ſont *variables*, tant pour leur direction, que pour leur vîteſſe & pour leur durée.

L'hiſtoire des vents eſt aſſez paſſablement connue, par les obſervations de pluſieurs Phyſiciens qui ont voyagé, ou qui ſe ſont appliqués dans leur pays pendant nombre d'années à la connoiſſance de ce météore. M. Muſchenbroek en a fait une diſſertation fort curieuſe *, où il a fait entrer non-ſeulement ce qu'il a obſervé lui-même, mais encore tout ce qu'il a pû recueillir des écrits de MM. Halley, Derham, &c. ſon ouvrage ſe trouve par-tout, j'y renvoye le lecteur. Mais il s'en faut bien que nous ſoyons autant inſtruits touchant les cauſes ; j'entends les plus éloignées, celles qui occaſionnent les premiers mouvemens dans l'atmoſphere ; car on ſait

* *Eſſais de Phyſ. tome* 2. *p.* 878. *Voyage de Dampier, t.* 4.

en général que les vents viennent immédiatement d'un défaut d'équilibre dans l'air; parce que toutes les fois que certaines portions de l'atmosphere deviennent plus chargées, plus denses, plus élevées ou plus pressées que les autres, étant alors plus pesantes, elles doivent s'échapper, s'écouler, par où il y a moins de résistance, & pousser devant elles les autres parties qui sont plus foibles, à-peu-près comme l'eau d'un canal, soulevée dans un endroit par une pierre qu'on y jette, se meut par ondes d'un bout à l'autre; mais qui est-ce qui a jetté la pierre, quand nous voyons l'atmosphere s'agiter? Voilà ce qu'on ne sait que fort imparfaitement.*

Les Physiciens qui ont raisonné sur cette matiere, conviennent tous que les vents peuvent être occasionnés par plusieurs causes différentes: le froid & le chaud qui ne régnent que dans une portion de l'atmosphere y changent la densité de l'air, & par conséquent son volume, soit en plus, soit en moins; & alors les parties voisines sont poussées plus loin, ou bien elles se rapprochent davan-

*Voyez les Oeuvres de Mariotte, p. 340.

XI. LEÇON.

tage. Si la cause qui raréfie l'air est réglée & continuelle, on conçoit bien que cette régularité influe sur le vent qu'elle produit; ainsi c'est avec vraisemblance qu'on attribue les vents qui régnent de l'Est à l'Ouest dans la Zone torride, au mouvement journalier de la terre : car cette portion de l'atmosphere qui est renfermée entre les deux tropiques, présentant successivement toutes ses parties au soleil, souffre par la chaleur de cet astre des raréfactions qui changent continuellement, & avec régularité, l'équilibre de l'air; & comme le mouvement apparent du soleil s'étend en six mois de l'un à l'autre tropique, ces vents généraux doivent souffrir quelques variations périodiques, & relatives aux différens aspects du soleil, comme on l'observe effectivement. Des exhalaisons qui s'amassent & qui fermentent ensemble dans la moyenne région de l'air, peuvent encore occasionner des mouvemens dans l'atmosphere; c'est la pensée de M. Homberg & de quelques autres savans: & si les vents peuvent naître

de cette cause, comme il est probable, on ne doit point être surpris qu'ils soufflent par secousses & par bouffées, puisque les fermentations ausquelles on les attribue, ne peuvent être que des explosions subites & intermittantes.

XI. Leçon.

Ces fermentations arrivent très-fréquemment dans les grottes souterreines, par le mêlange des matieres grasses, sulfureuses & salines qui s'y trouvent; aussi plusieurs Auteurs ont-ils attribué les vents accidentels à ces sortes d'éruptions vaporeuses. Connor rapporte * qu'étant allé visiter les mines de sel de Cracowie, il avoit appris des Ouvriers & du maître même, que des recoins & des sinuosités de la miniere, il s'éléve quelquefois une si grande tempête, qu'elle renverse ceux qui travaillent, & emporte leurs cabannes: Gilbert, Gassendi, Scheucher, &c. font mention d'une grande quantité de cavernes de cette espece, d'où il sort quelquefois des vents impétueux, qui prenant leur naissance sous terre, se répandent & continuent quelque temps dans l'atmosphere.

* *Dissert. Medico-physi. Art. III. p. 33.*

XI. LEÇON.

On cite encore l'abaissement des nuages, leurs jonctions, & les grosses pluies, comme autant de causes qui font naître, ou qui augmentent le vent; & en effet une nuée est souvent prête à fondre par un temps calme, lorsqu'il s'éléve tout-à-coup un vent très-impétueux; la nuée presse l'air entr'elle & la terre, & l'oblige à s'écouler promptement.

Enfin, s'il est permis de hazarder des conjectures après ces probabilités, ne pourroit-on pas encore attribuer l'origine du vent à la grande quantité d'air qui se dégage des mixtes, en certains lieux & en certaines saisons? car nous avons fait voir à la fin de la Leçon précédente, que cet air, lorsqu'il est dégagé, tient beaucoup plus de place dans l'atmosphere, qu'il n'en occupoit dans les matieres dont il faisoit partie. Or en automne, par exemple, s'il fait un temps humide & chaud qui procure une prompte & abondante putréfaction des plantes & des feuilles qui sont tombées des arbres, l'atmosphere doit s'enfler au-dessus des endroits où ces effets arrivent; elle doit refluer

fluer sur les parties voisines ; celles-ci sur d'autres, & peut-être assez sensiblement, pour faire ce qu'on nomme du vent.

On pourroit pousser cette idée plus loin, en la prenant par le côté opposé ; s'il étoit vrai que la décomposition des mixtes pût rendre assez promptement une quantité d'air capable d'interrompre l'équilibre de l'atmosphere, on pourroit penser aussi qu'au printemps & dans les endroits où la nature travaille le plus à toutes ses productions, il doit s'absorber beaucoup d'air, & qu'il peut se trouver telles circonstances, où l'équilibre de l'atmosphere en pourroit être altéré. Mais ne nous livrons point avec trop de confiance à une imagination, qui n'est rien moins que fondée en preuves solides.

Plusieurs Physiciens ont essayé de mesurer la vîtesse des vents, en lui donnant à emporter des petites plumes & d'autres corps légers ; & en examinant combien il leur faisoit faire de chemin dans un temps déterminé. Mais quoique ces sortes d'expériences paroissent très-simples & d'une

extrême facilité ; ceux qui les ont faites, sont si peu d'accord entr'eux sur les résultats, qu'on n'en peut rien conclure de certain. M. Mariotte conclut la vîtesse du vent le plus impétueux de 32 pieds par seconde, & M. Derham la trouve de 66 pieds d'Angleterre en pareil temps, c'est-à-dire, environ une fois plus grande; d'où peut venir cette différence ? c'est que ces deux Savans n'avoient point de régle pour juger précisément, quel est le vent le plus impétueux ; & apparemment le premier a pris pour le plus fort de tous, un vent qui pouvoit l'être une fois plus.

XI. Leçon.

Les girouettes ordinaires, comme on fait, enseignent la direction du vent : mais elles ne l'enseignent qu'à ceux qui peuvent porter la vûe au haut des édifices où elles sont placées, & qui se sont orientés, c'est-à-dire, qui connoissent les points principaux de l'horison du lieu. Pour rendre l'usage de cet instrument plus commode, au lieu de faire tourner la girouette sur sa tige, on l'y attache de maniere qu'elle la fasse tourner avec elle ; & à l'autre bout de cette tige,

qui répond, si l'on veut, dans un appartement, on pratique un pignon qui méne une roue dentée, & cette roue une aiguille qui marque les vents sur un cadran. *Voyez les Récréations Mathématiques d'Ozanam. Tom. 2. pag. 45. Edit. 1694.*

La force du vent, comme celle des autres corps, dépend de sa vîtesse & de sa masse, c'est-à-dire, de la quantité d'air qui se meut ; ainsi le même vent fait d'autant plus d'effort que l'obstacle sur lequel il agit, lui présente directement plus de surface ; c'est pour cette raison qu'on déploye plus ou moins les voiles d'un vaisseau, qu'on habille plus ou moins les aîles d'un moulin à vent, & que les arbres sont moins sujets l'hyver que l'été, à être rompus par la violence des vents, parce que dans la premiere de ces deux saisons, n'étant point garnis de feuilles, ils leur donnent moins de prise.

On peut connoître la force relative des vents par le moyen d'un petit moulin, dont l'arbre est garni d'une fusée conique, sur laquelle on enveloppe une corde qui tient un poids

XI. LEÇON. suspendu; car en exposant cette machine à l'air libre, & dans une direction convenable, le petit moulin tourne d'abord, & s'arrête ensuite, quand le poids qui tire sur la fusée, lui fait équilibre; or comme les rayons de cette fusée sont connus, ou faciles à connoître, on peut aisément comparer les forces qui ont fait équilibre aux vents en différens temps.

Parmi toutes les machines propres à mesurer les vents, & que l'on nomme pour cette raison *Anémomètres*, je n'ai rien vû de plus ingénieux & de plus complet que celle de M. le Comte d'Ons-en-bray, qui est décrite fort au long dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1734. Non-seulement elle marque la vîtesse & la direction du vent; mais elle en tient compte pour l'observateur absent, & l'on voit après 24 heures, quels vents ont régné, & quelles ont été pendant cet espace de temps la durée & la vîtesse de chacun.

La nature qui ne fait rien d'inutile, sait mettre les vents à profit: ce sont eux qui transportent les nuages pour arroser & fertiliser les différentes par-

ties de la terre ; ce sont eux qui les dissipent pour faire succéder le calme à l'orage ; c'est par ces mouvemens & par ces agitations que l'air se renouvelle & se purifie, & que le chaud & le froid se transmettent d'un pays à l'autre. Il arrive aussi quelquefois que l'on perd au change : car si le vent vient d'un lieu mal sain, il en apporte les mauvaises qualités, & sert de véhicule à la contagion ; mais ce sont des cas particuliers & assez rares qui ne l'emportent point sur une infinité d'autres avantages que nous tirons du vent.

On est surpris de voir naître certaines plantes au sommet d'une tour, sur le tronc d'un arbre, &c. où l'on n'a pas lieu de croire que personne ait pris la peine de les semer ; c'est l'ouvrage du vent qui éléve la terre en poussiere, & ensuite les semences, que l'eau du ciel fait germer. C'est par la même cause que le gramen & toutes les herbes des champs se multiplient & croissent dans une quantité d'endroits, où l'on voudroit souvent qu'elles ne vinssent point.

L'art, imitant la nature, a trouvé

XI. LEÇON.

dans les vents de puissans moteurs ; qui nous procurent de grandes commodités, & qui étendent prodigieusement notre commerce : combien la navigation ne seroit-elle pas bornée, si les vaisseaux n'alloient qu'à force de rames, comme les galeres ? Les voyages de long cours seroient impraticables par leur lenteur, & par les frais d'équipages : au lieu qu'à l'aide des vents, & des voiles qui en reçoivent l'impulsion, un petit nombre de matelots au fait de la manœuvre, conduit avec beaucoup de diligence, une petite armée de soldats, ou un magasin énorme de marchandises, d'un bord à l'autre de l'Océan.

Quels secours ne tirons-nous pas des moulins à vent, pour moudre le grain, extraire l'huile des semences, fouler les draps, scier les planches, broyer les couleurs, ou autres matieres, &c. combien d'hommes ou de chevaux ne faudroit-il pas employer, pour faire toute la farine que le vent prépare à Montmartre, ou ailleurs aux environs de Paris ? Tous ces travaux s'operent à peu de frais, par le moyen de quatre aîles qui font l'office de leviers,

& qui présentent leur plan d'une maniere oblique à la direction du vent : la puissance qui agit continuellement sur ces quatre plans inclinés, les oblige de reculer sans cesse ; ce qu'ils ne peuvent faire qu'en tournant, & en faisant tourner l'arbre auquel ils sont fixés.

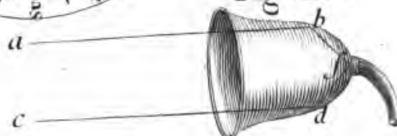
C'est par une méchanique assez semblable que les enfans trouvent le moyen d'enlever ces especes de chassis couverts de papier, qu'ils appellent *cerf-volans;* car la corde avec laquelle ils les retiennent, est toujours attachée de façon que ce plan se présente obliquement à la direction du vent, & alors l'impulsion de l'air tend toujours à le faire monter, en décrivant l'arc d'un cercle qui a pour rayon la ficelle que tient en sa main celui qui gouverne le cerf-volant. Mais comme il faut que l'axe *A B* soit toujours incliné au vent *C D*, d'une certaine quantité, au-dessous & au-delà de laquelle l'impulsion n'auroit plus l'effet qu'on en attend, on a soin de faire filer la corde; & par ce moyen le cerf-volant se trouvant à l'extrémité d'un arc semblable, mais d'un plus grand cer-

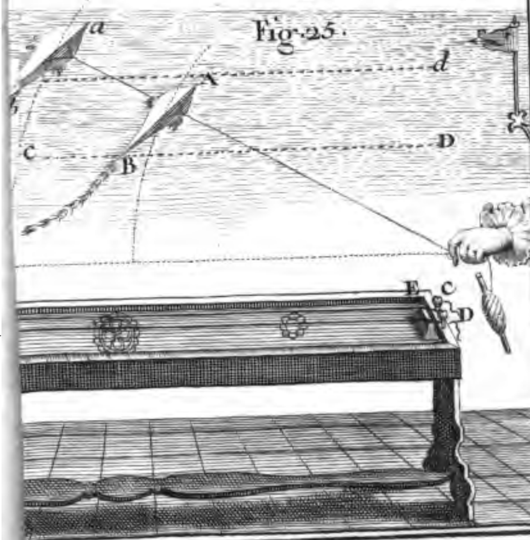
cle, son axe *a b* est toujours également incliné au vent *c d* ; & le degré d'élévation est plus grand. *Voyez la Fig.* 25.

Le secours du vent est si commode, & ses avantages sont si bien connus de tout le monde, que quand il n'en fait pas, ou que nous ne sommes pas à portée d'en profiter, nous prenons la peine de nous en procurer artificiellement : on agite l'air avec un éventail, ou autrement, pour se donner du frais ; le forgeron se sert d'un soufflet pour animer son feu ; & le boulanger nettoye son bled, en le faisant passer devant une espece de roue garnie de quatre volans qu'il fait tourner pour jetter l'air dessus, & emporter la poussiere ; ce crible qui vient originairement d'Allemagne, a été perfectionné & connu à Paris & aux environs, par les soins de M. d'Hecbourg, ancien Officier d'Artillerie ; je sais par moi-même, & par le grand débit que je lui ai vû faire de cette machine, combien elle est utile à ceux qui ont beaucoup de grains à nettoyer & à conserver.

Fin du troisiéme Volume.


NORD
N.E
EST
S.E.
SUD


Fig . 20 .
a
b
c
d


Fig. 25 .
a
d
A
D
C
B
E
C
D

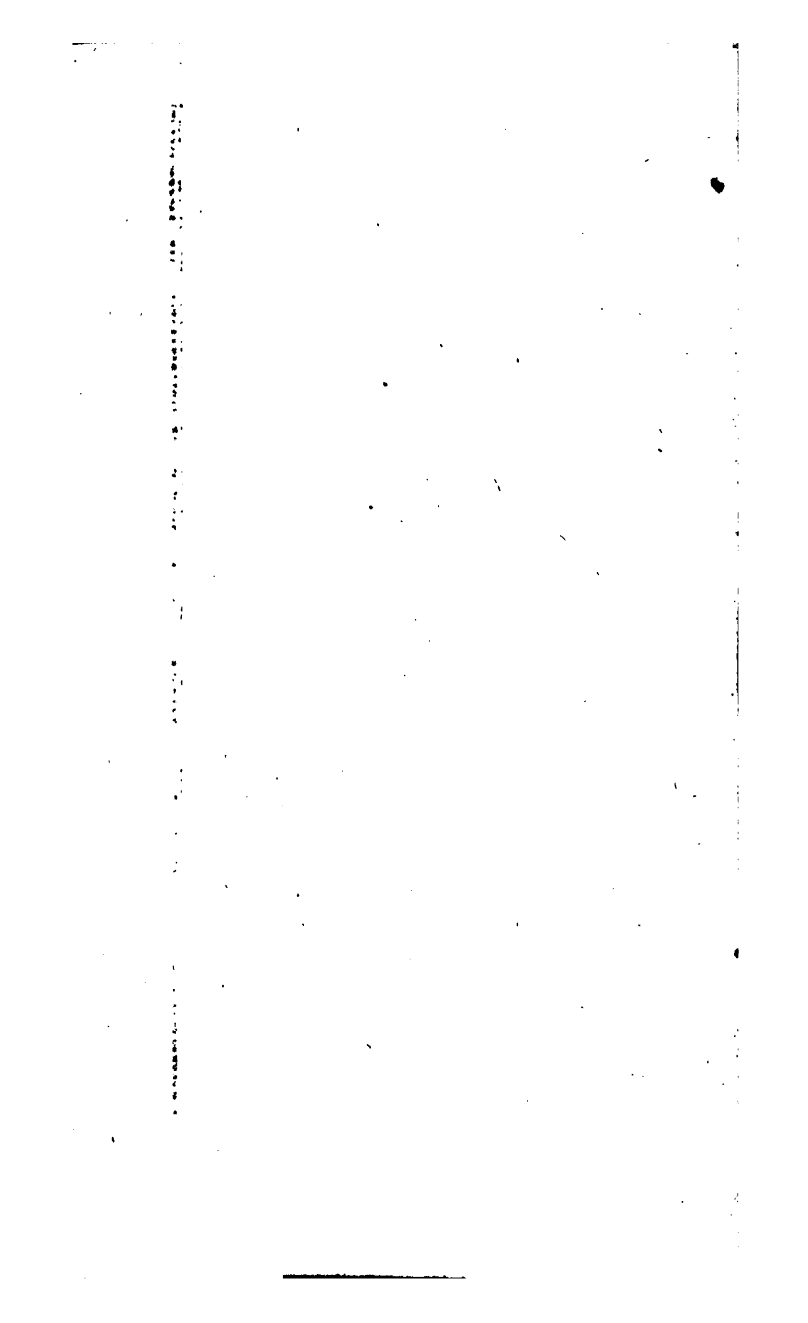




TABLE DES MATIERES

Contenues dans le troisiéme Volume.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

X. LEÇON.

Sur la Nature & les Propriétés de l'Air. 175.

XI. LEÇON.

Suite des propriété de l'Air.

Fin de la Table des Matières du Tome III.